

Universidad del Bío Bío
Facultad de Ingeniería
Depto. Ingeniería Industrial

Profesor Guía:
Sr. Iván Santelices Malfanti



**“Evaluación del Taller de Rodillos de la Compañía Siderurgica Huachipato
mediante el uso de Simulación”**

**“Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos para
obtener el título de Ingeniero Civil Industrial”.**

Concepción, Diciembre 2005

Pablo Barrera Muñoz

Agradecimientos

A Dios, por su fuerza en todo momento

A mis padres, Mirta y Carlos por su amor, fuerza y apoyo en todos mis años de estudio

A Mónica, por su amor, cariño y confianza en esta etapa tan importante de mi vida

A mis amigos que me apoyaron y animaron

Al Departamento de Ingeniería Industrial y la Sección Rodillos de la Cia. Siderúrgica
Huachipato por todo el respaldo y la excelente disposición para desarrollar este tema

A todos los que confiaron en mi

Gracias.

Resumen

Durante los últimos años, en la Compañía Siderúrgica Huachipato se han generado diversos estudios con el fin de modernizar sus procesos, debido a la alta demanda de acero existente, y por esto se propuso la evaluación de nuevas alternativas en maquinaria, lo que permitió lograr niveles superiores de producción, para satisfacer los mercados demandantes y con una calidad superior en sus productos.

De aquí surgió la necesidad de revisar que áreas son las que necesitan una modernización, ya que o se encuentran trabajando muy al límite de sus recursos o sus instalaciones son demasiado obsoleta para poder continuar con la creciente demanda de acero.

Dentro de las unidades de la Compañía, se encuentra la Unidad Laminador de Barras Talcahuano, la cual se divide en dos Secciones: Sección Laminación y Sección Rodillos.

La Sección Rodillos, definida como Unidad Funcional de Servicios Crítica, da recuperación a anillos, rodillos y cuchillos que son ocupados en los diferentes laminadores de la compañía, y es aquí donde se centra este estudio, debido a que surgió la propuesta de reemplazo y/o modernización de algunas máquinas que componen este taller, para poder conseguir mayores niveles de producción y mayores estándares de calidad en sus productos.

Al tener esta necesidad, se propuso construir un modelo de simulación, utilizando el software Flexsim, que nos permitió realizar la evaluación de las alternativas de reemplazo y/o modernización disponibles, para así determinar cual es la más conveniente, evitando los costos asociados a realizar estas modificaciones en la realidad, y hacerse una idea de cual será el comportamiento del Taller bajo estas condiciones.

También se evaluó el impacto que tendrá en el Taller la implementación de un futuro Laminador de Barras, viendo si es necesario realizar alguna otra modificación en éste, para poder satisfacer las demandas de productos bajo estas condiciones.

El Taller cuenta con cuatro rectificadoras que prestan servicios al Laminador planos en Frío y al Laminador Planos en Caliente, dentro de las cuales 3 fueron objeto de posibles modificaciones, y se plantea además la posibilidad de instalar una 5^{ta} rectificadora.

De todo esto se generó 3 grupos de escenarios con propuestas de reemplazo y/o modificaciones, donde la variable de sistema que se utilizó para ver cual es el más conveniente, es “cantidad de rodillos promedio recuperados mensualmente”, la cual nos permitió evaluar los niveles de las combinaciones propuestas.

De la misma manera se evaluó el impacto de la implementación de un nuevo Laminador de Barras, donde de ser negativa la evaluación, se planteó la opción de adquirir un nuevo torno CNC.

También se realizó un análisis de sensibilidad de la situación actual del Taller para ver límites de producción del Taller, donde se hizo variaciones en sus niveles de operación, observando así qué diferencias existirían entre éstas: la situación actual y la situación modificada.

También se evaluó la inquietud de que, en caso de emergencia, saber en qué momento se detiene la producción del Laminador Planos en Frío por falta de rodillos, debido a la detención de la rectificadora Herkules 1, ya que es la única máquina capaz de prestar servicios a este Laminador.

Finalmente, dentro de los grupos de escenarios para el reemplazo de maquinarias, se encontró que la mejor alternativa de reemplazo, debido a los requerimientos

que debe cumplir el Taller para con sus clientes y la cantidad de rodillos recuperados en la compra e instalación de una nueva rectificadora.

Por otra parte la finalidad de hacer diferentes grupos de evaluación de reemplazo y/o modernización, fue que si por cualquier motivo no se puede realizar la compra de una nueva rectificadora, se propuso que el mejor escenario sería la modernización de la rectificadora Herkules 1, sugiriendo posibles soluciones para lograr su modernización sin afectar al funcionamiento del Taller.

Finalmente la evaluación del impacto en el Taller de un nuevo Laminador Barras es negativa, por lo que de realizarse ese proyecto se sugiere la compra de un nuevo Torno CNC que permitirá cumplir con los requerimientos de los clientes bajo esas condiciones.

Indice

CAPITULO 1	10
Antecedentes generales del tema.....	10
1.1 Origen del tema.....	10
1.2 Justificación del estudio.....	10
1.3 Objetivos del estudio.	13
1.3.1 Objetivo general.....	13
1.3.2 Objetivos secundarios.....	13
1.4 Alcances o ámbitos del estudio.	14
1.5 Metodología Propuesta	14
1.5.1 Análisis actual de la Sección de Rodillos:	14
1.5.2 Recopilación de datos:.....	14
1.5.3 Construcción del modelo de simulación:	15
1.5.4 Análisis de resultados:	15
Capitulo 2	16
Antecedentes generales de la empresa.	16
2.1 CAP S.A.....	16
2.2 Compañía Siderúrgica Huachipato:	17
2.2.1 Visión ³	18
2.2.2 Misión ⁴	18
2.2.3 Estructura organizacional ⁵	18
2.2.4 Proceso Productivo.	20
Capitulo 3	28
Análisis de la situación actual.....	28
3.1 Sección Rodillos de la Compañía Siderúrgica Huachipato.....	28
3.2 Organigrama de la Sección Rodillos.....	30
3.3 Procesos del Taller	31
3.3.1 ETAPA 1: Usuario.....	31

3.3.2 ETAPA 2: Suministro de Rodillos.....	31
3.3.3 ETAPA 3: Recepción en Taller.....	31
3.3.4 ETAPA 4: Rectificado.....	32
3.3.5 ETAPA 5: Torneado.....	32
3.3.6 ETAPA 6: Ribeteado.....	33
3.3.7 ETAPA 7: Electroerosionado.....	33
3.3.8 ETAPA 8: Almacenamiento.....	33
3.3.9 ETAPA 9: Despacho.....	33
3.4 Productos del taller.....	34
3.4.1 Rodillos.....	34
3.4.2 Anillos:.....	35
3.4 Componentes del Taller.....	36
3.4.1 Rectificadoras.....	36
3.4.2 Tornos.....	38
3.4.3 Ribeteadora.....	39
3.4.4 Electroerosionadora.....	39
3.4.3 Grúa puente.....	40
Capítulo 4	41
Conceptos de simulación.....	41
4.1 Conceptos de simulación.....	41
4.2 Pasos en un modelo de simulación.....	42
4.2.1 <i>Formular el problema y definir el estudio:</i>	43
4.2.2 <i>Recolección de datos y definir el modelo conceptual.</i>	43
4.2.3 <i>Validación de modelo conceptual.</i>	44
4.2.4 <i>Construcción de un programa computacional y verificar.</i>	44
4.2.5 <i>Realizar corridas pilotos.</i>	44
4.2.6 <i>Validación programación modelo de simulación.</i>	44
4.2.7 <i>Diseñar experimentos.</i>	44
4.2.8 <i>Análisis de datos de salida.</i>	44
4.2.9 <i>Documentar e implementar.</i>	45
4.2 Modelamiento.....	45

4.3	Supuestos u omisiones.....	48
4.4.1	<i>Omisiones</i>	48
4.4.2	<i>Supuestos.</i>	48
4.5	Simulación Taller de rodillos.....	49
4.5.1	<i>Layout.</i>	49
4.5.2	<i>Características de los productos.</i>	50
4.5.3	<i>Distribución Interna de rodillos.</i>	51
4.5.4	<i>Asignación de número identificador</i>	56
4.5.5	<i>Registro de resultados.</i>	58
	On process finish	61
4.5.6	<i>Grúa puente:</i>	64
4.6	Tablas de tiempo.	64
4.7	Prioridades dentro del modelo.....	66
4.8	Vista conexiones lógicas del modelo.....	67
4.9	Vistas del modelo.	68
Capítulo 5	71
	Análisis de datos del modelo	71
5.1	Análisis de datos de entrada.....	71
5.2	Validación del modelo.	72
5.3	Cálculo del número de réplicas.	76
Capítulo 6	77
	Características de los escenarios y análisis de resultados.	77
6.1	Alternativas de reemplazo y/o modernización.....	77
6.1.1	<i>Descripción escenarios.</i>	78
6.2	Nuevo Laminador de Barras Talcahuano.....	78
6.3	Resultados de la simulación.	79
6.4	Análisis de sensibilidad situación actual.....	80
6.5	Resultados de los escenarios.....	82
6.5.1	<i>Grupo 1:</i>	82
6.5.2	<i>Grupo 2:</i>	85
6.5.2	<i>Grupo 3:</i>	90

Capítulo 7	97
Evaluación económica.....	97
Capítulo 8	100
Conclusiones y recomendaciones	100
8.1 Conclusiones.....	100
8.2 Recomendaciones.....	102
Capítulo 9	103
Bibliografía.....	103
Anexos	104
ANEXO A	104
ANEXO B	108
Anexo D.....	117
Anexo E.....	119

CAPITULO 1

Antecedentes generales del tema

1.1 Origen del tema.

El tema se originó por la propuesta de los señores Jean Paul Sauré, Ingeniero Civil Industrial y Johnson Núñez Jefe Sección Rodillos, pertenecientes a la Compañía Siderúrgica Huachipato, quienes están interesados en simular el proceso de recuperación de rodillos, anillos y cuchillos utilizados en las unidades de laminación.

También, se contó con la participación de Carina Ponce, Ingeniero Civil Industrial de la Cía. Siderúrgica Huachipato, para la etapa final del proyecto.

1.2 Justificación del estudio.

La Compañía Siderúrgica Huachipato S.A. es una industria que, debido a la globalización y variaciones en la demanda por sus productos, la han llevado a renovar y mejorar sus procesos productivos.

En sus dos plantas de producción, ubicadas en Talcahuano y Rengo, Huachipato elabora productos de **acero al carbono, aceros de media aleación y aceros de baja aleación**. Los productos semiterminados corresponden a **planchones y palanquillas** y los productos terminados se desglosan en dos grandes categorías, **barras y planos**, a partir de las cuales existe una gran variedad de productos.

Dentro de las unidades que elaboran parte de los productos mencionados anteriormente, se encuentra la Unidad Laminador de Barras Talcahuano, la cual se divide en dos Secciones: Sección Laminación y Sección Rodillos.

La Sección Rodillos, definida como Unidad Funcional de Servicios Crítica, pertenece a la Unidad Laminador de Barras Talcahuano.

La sección rodillos tiene 2 grandes objetivos:

1º Dar servicio de recuperación de rodillos, anillos y cuchillos de los Laminadores planos en frío y planos en caliente, rodillos de fundición y anillos de carbono tungsteno de los Laminadores de Barras Talcahuano y Rengo

2º Dar servicio de diseño de pases a Laminador de Barras Talcahuano y Laminador de Barras Rengo y control estadístico del comportamiento de rodillos y anillos del Laminador Barras Talcahuano.

El funcionamiento de la Sección Rodillos comienza por identificar a los clientes quienes son: Laminador de Barras Talcahuano, Laminador de Barras Rengo, Laminador de Planos en Caliente, Laminados de Planos en Frío, otros, quienes solicitan el servicio de recuperación de rodillos, anillos y cuchillos a la Sección Rodillos, enviándolos mediante vía ferroviaria interna y camiones.

Luego los elementos recepcionados son almacenados en portas, donde se espera mientras se realiza el proceso de programación, labor encargada al Jefe de Turno quien programa cada una de las máquinas.

Posteriormente se tienen 4 procesos que conforman lo que es la recuperación de los productos que llegan a la Sección: rectificado, torneado, ribeteado y electroerosión, para luego almacenar los productos reparados los cuales finalmente son despachados a los diferentes clientes.

La programación de la producción se hace basándose en las órdenes de venta y estándares de producción de cada laminador.

Debido a que no todos los rodillos, anillos y cuchillos tienen igual tamaño, diámetro, rugosidad, especificaciones y características, deben ser recuperados en diferentes máquinas y en distintas condiciones de operación. Además cuando existen cambios no programados, como pedidos especiales de clientes, estos programas cambian, es decir, la producción de rodillos está en directa relación con lo que acontece en los laminadores.

Unas de las razones por la que se desarrolló este modelo es la futura instalación de un nuevo laminador de barras, lo que incrementará la demanda de servicio de recuperación de rodillos y anillos.

Este modelo permitió simular, de manera anticipada, dicho aumento en el consumo por parte de los clientes de la Sección de Rodillos con el fin que el usuario del modelo pueda tomar las mejores decisiones con respecto a, mantener la actual maquinaria, o reemplazarla, definiendo qué reemplazos realizar, pudiendo efectuar combinaciones de diferentes máquinas para lograr una producción óptima y satisfacer las necesidades de los clientes.

El Proyecto de modernización de la Sección Rodillos consistió en reemplazar y/o modernizar las actuales rectificadoras: Herkules 1, Cincinnati 2, y Farrel, a máquinas CNC, con las cuales se podrán rectificar todos los rodillos de apoyo de trabajo de los Laminadores planos.

También se encontró la inquietud de incorporar una quinta máquina que permita seguir con el nivel de producción del Taller mientras se realicen procedimientos de mantenimiento de algunas de las máquinas, o en caso de repentinos aumentos de demanda por parte de los clientes.

Fue necesario ver anticipadamente el funcionamiento de las nuevas máquinas con respecto a las que actualmente están funcionando, para poder así

ver combinaciones diferentes de reemplazos y desarrollar propuestas a partir de lo observado en la Simulación.

Otra justificación para simular el Taller de Rodillos, fue la necesidad de saber la actual capacidad productiva del Taller, para satisfacer los futuros requerimientos de la Sección.

Los beneficios de desarrollar este modelo se reflejaron en satisfacer la demanda de rodillos para los Laminadores y anticipar o probar modificaciones que ayuden a mejorar el Taller; así los costos se ven disminuidos en la medida que si se obtiene un buen diagnóstico con el modelo, se puede, con objetividad, qué modificaciones establecer a futuro en la Sección.

1.3 Objetivos del estudio.

1.3.1 Objetivo general.

Evaluación de diferentes propuestas de reemplazo de máquinas en el Taller de Rodillos simulando operativa y funcionalmente sus condiciones actuales para asociar un nuevo nivel de operación que permita abastecer de manera óptima a los clientes y que permita concluir sobre la producción al momento de generarse nuevas exigencias de los clientes.

1.3.2 Objetivos secundarios.

- Determinar la actual capacidad real del Taller.
- Evaluación de modernización y/o incorporación de nuevas máquinas, y visualización de su funcionamiento.
- Visualizar como influyen los nuevos requerimientos de los clientes
- Recomendar mejoras al sistema simulado.

1.4 Alcances o ámbitos del estudio.

El estudio se llevó a cabo tanto en las instalaciones de la Compañía Siderúrgica Huachipato S.A. como en la Universidad del Bío-Bío.

El tema fue dirigido por el profesor del Departamento de Ingeniería Civil Industrial de la Universidad del Bío-Bío Sr. Iván Santelices y controlado en la empresa por los Ingenieros Sr. Jean Paul Saure y Srta. Carina Ponce.

Al desarrollar el presente tema, se tuvo la ventaja de contar con un modelo en el cual pueda realizarse cualquier modificación requerida, debido a las necesidades de los clientes u obsolescencia de las máquinas, lo que permitió anticipar el comportamiento de la producción del Taller para poder tomar decisiones a futuro.

El software para desarrollar dicho modelo se encuentra disponible en la Universidad del Bío-Bío en el Departamento de Ingeniería Civil Industrial, como también en el Departamento de Ingeniería Civil Industrial de Huachipato. Para la obtención de la información necesaria para la construcción del modelo, se contó con el pleno apoyo de la Superintendencia de Laminador de Barras y del Jefe de la Sección de Rodillos.

1.5 Metodología Propuesta

1.5.1 Análisis actual de la Sección de Rodillos:

- Conocer el proceso productivo.
- Conocer el funcionamiento de sus máquinas.
- Conocer la distribución de planta (layout) de la Sección.
- Identificar los productos, su procedencia y destino.

1.5.2 Recopilación de datos:

- Realizar muestreos y recopilación de tiempos de proceso.
- Validación de la información mediante software estadístico Experfit.

- Obtener distribuciones de probabilidades y comportamientos de máquinas para ingresar al modelo.
- Obtener información sobre nuevas máquinas de reemplazo

1.5.3 Construcción del modelo de simulación:

- Especificación de las variables y parámetros.
- Determinación de las condiciones de inicio del proceso de Rectificación. (análisis de datos de entrada).
- Creación del modelo conceptual.
- Creación del modelo utilizando software Flexsim.
- Verificación y validación del modelo.

1.5.4 Análisis de resultados:

- Obtención de resultados.
- Diseño de experimentos (determinación de factores que influyan en nuestro proceso para encontrar el diseño más adecuado que se ajuste a los requerimientos del taller).
- Evaluación final de los escenarios propuestos.

Capítulo 2

Antecedentes generales de la empresa.

2.1 CAP S.A.

Bajo la presidencia de don Juan Antonio Ríos, se creó la Compañía de Acero del Pacífico S.A., con el 53% de la propiedad suscrita por el sector privado, el 33% suscrito por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y el 14% por la Caja de Amortización de la Deuda Pública.

Actualmente, CAP S.A. está conformado como un Holding, el que tiene la administración de las siguientes filiales¹:

Accionista	Acciones	Propiedad %
• Invercap S.A.	46.803.257	31,32%
• AFP Provida S.A.	10.460.696	7,00%
• AFP Habitat S.A.	8.482.067	5,68%
• Mitsubishi Corporation	7.787.014	5,21%
• Inversiones Rand Ltda.	5.602.716	3,75%
• AFP Cuprum S.A.	4.394.693	2,94%
• Cía. Explotadora de Minas S.C.M.	3.795.224	2,54%
• AFP Santa María S.A.	3.711.429	2,48%
• Fundación CAP	3.243.581	2,17%
• Penta Corredores de Bolsa S.A.	3.107.053	2,08%
• Inversiones Aegis Chile Ltda.	2.992.199	2,00%
• AFP Summa Bansander S.A.	2.974.769	1,99%

Tabla 2.1: Filiales de CAP S.A.

Del cuadro se concluye que Invercap S.A. tiene la calidad de controlador de CAP S.A., de acuerdo con la definición dada en el Título XV de la Ley N° 18.045. A su vez, Invercap S.A., según esta definición carece de controlador y, además, ninguno de sus accionistas, personas naturales, tiene una participación accionaria en ella superior al 0,455%. Invercap S.A. no tiene acuerdo de actuación conjunta..

¹ CAP S.A. [en línea] < http://www.cap.cl/esp_grupocap/propiedad.htm > [consulta 20 Octubre 2005]

2.2 Compañía Siderúrgica Huachipato:

Situada en la Bahía de San Vicente, 14 Km. al noroeste de la ciudad de Concepción, capital de la Octava Región, comenzó a ser construida a mediados de 1947, siendo oficialmente inaugurada el 25 de noviembre de 1950.

Desde su inauguración, la Industria Metalmeccánica Nacional ha podido responder a los elevados requerimientos crecientes del mercado Nacional e Internacional y contar con un suministro de acero seguro y sostenido. Para ello la Planta ha sido objeto de continuos planes de expansión y modernización, que han elevado su capacidad de producción de 180.000 a 1.200.000 toneladas anuales de acero líquido.

La Compañía Siderúrgica Huachipato es una industria integrada, la cual produce arrabio por transformación de recursos minerales en los Altos Hornos, transforma este arrabio en acero líquido en la Acería, del que se obtienen planchones y palanquillas en las Coladas Continuas, los que posteriormente lamina para entregar al mercado convertido en variados productos.

En sus dos plantas de producción, ubicadas en Talcahuano y Rengo, Huachipato elabora productos de acero al carbono, aceros de media aleación y aceros de baja aleación. Los productos semiterminados corresponden a planchones y palanquillas y los productos terminados se desglosan en dos grandes categorías, barras y planos, a partir de las cuales existe una gran variedad de productos.²

La compañía produce el 100% del acero nacional proveniente del mineral de hierro y abastece a varios sectores del mercado nacional, obteniendo productos a partir de un largo y complejo proceso industrial con tecnología avanzada que lo hace único en Chile.

² Compañía Siderurgica Huachipato S.A.[en línea] < <http://www.huachipato.cl>> [consulta:20 Octubre 2005]

2.2.1 Visión³.

Liderar en Chile el negocio del acero en todas sus formas y desarrollar nuevas oportunidades en el área de tecnologías siderúrgicas.

2.2.2 Misión⁴.

Producir y proveer productos y soluciones en acero de excelente calidad y servicio, que superen las expectativas de sus clientes, privilegiando el desarrollo del recurso humano como factor determinante del éxito.

Desarrollar ventajas competitivas, que generen rentabilidad, a través de la innovación de sus procesos mediante el uso de tecnologías sustentables.

2.2.3 Estructura organizacional⁵.

A continuación tenemos el organigrama de la Compañía en el cual se encuentran todos los directivos a cargo de los diferentes Departamentos:

³ Compañía Siderurgica Huachipato S.A. [en línea] <<http://www.huachipato.cl/intranet.html>> [consulta: 20 Octubre 2005]

⁴ Compañía Siderurgica Huachipato S.A. [en línea] <<http://www.huachipato.cl/intranet.html>> [consulta: 20 Octubre 2005]

⁵ Departamento Ingeniería Industrial CSH S.A. <Secretaría> [consulta: 03 septiembre 2005]

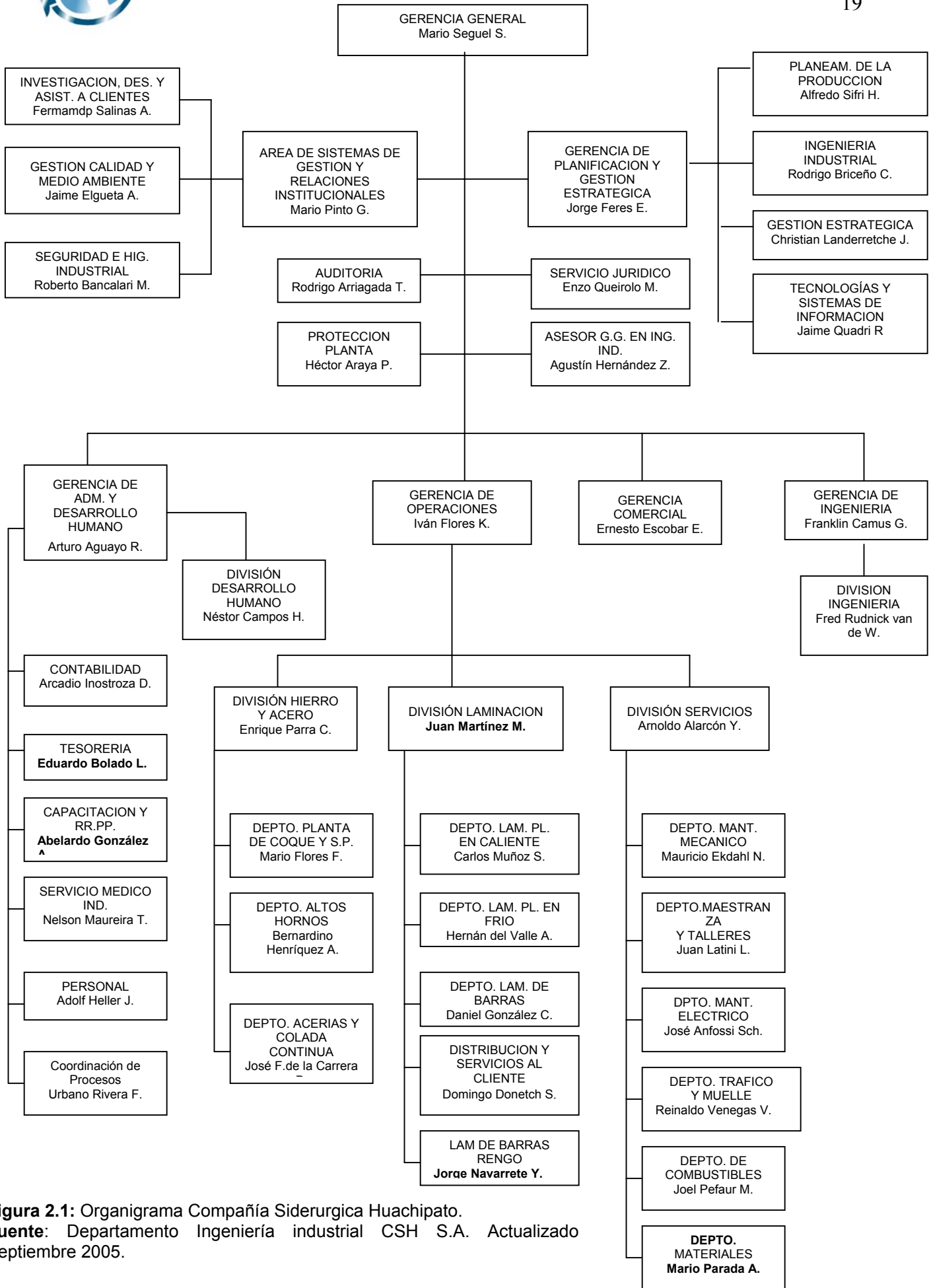


Figura 2.1: Organigrama Compañía Siderurgica Huachipato.

Fuente: Departamento Ingeniería industrial CSH S.A. Actualizado Septiembre 2005.

2.2.4 Proceso Productivo.

El proceso productivo de Huachipato esta formado por la siguiente secuencia:

2.2.4.1 Preparación de materias primas.

- a) *Materias Primas:* Esta etapa incluye la descarga, clasificación, pesaje y almacenamiento de las materias primas necesarias para la fabricación del acero, que básicamente son: mineral de hierro, carbones metalúrgicos y caliza.

- b) *Planta de Coque y subproductos:* La mezcla de carbones metalúrgicos se somete a un proceso de destilación seca que lo transforma en coque metalúrgico. Este proceso se realiza en la Planta de Coque, la que cuenta con 58 hornos. La coquificación del carbón mineral deja, como subproducto, gas de alto poder calorífico, que es utilizado como combustible en los diversos procesos de la industria.

2.2.4.2 Reducción de mineral para obtener Arrabio

- a) *Alto Horno:* por la parte superior del Alto Horno (tragante) se cargan las materias primas.

La inyección de aire precalentado a 1.000 °C, aproximadamente, facilita la combustión del coque, generando elevadas temperaturas y gases reductores que actúan sobre el mineral y la caliza, transformándolos en arrabio (hierro líquido) y en escoria, respectivamente.

La colada, que consiste en extraer estos elementos acumulados en el crisol (parte inferior de los altos hornos), se efectúa aproximadamente cada dos horas. El arrabio es recibido en carros torpedo para ser transportado a la Acería de Convertidores al Oxígeno; la escoria, separada del arrabio por su menor densidad, se hace fluir hacia un foso donde es "apagada" y granulada por un chorro de agua.

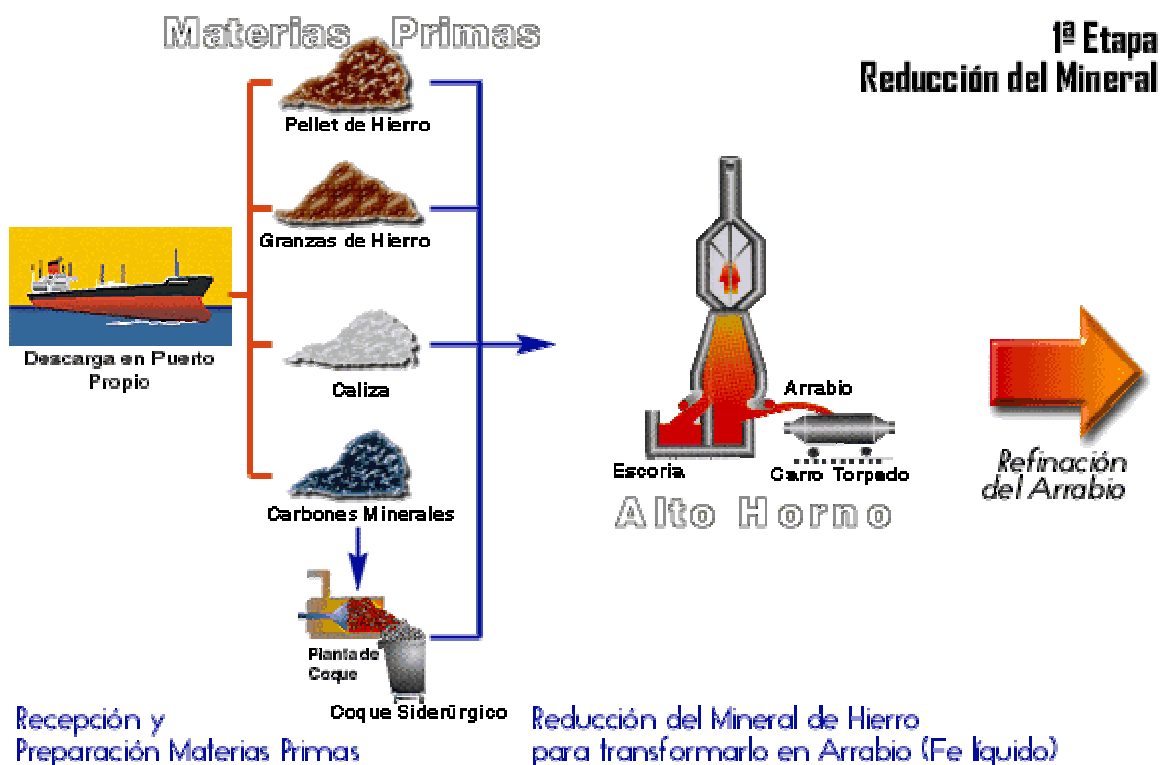


Figura 2.2: Reducción del mineral para producción de Arrabio

Fuente: Infoacero, CAP S.A. [en línea] <<http://www.infoacero.cl/procesos/siderur.htm>> [consulta: 30 Octubre 2005]

2.2.4.3 Fabricación del Acero

- a) *Acería de convertidores al oxígeno:* Se cuenta con dos convertidores de 115 toneladas cada uno. El arrabio proveniente de los Altos Hornos se carga junto con chatarra de acero. Por la acción del oxígeno puro que se inyecta al convertidor, se oxidan el carbono, silicio y fósforo del arrabio

Estas reacciones son exotérmicas y causan la fusión de la carga metálica fría sin necesidad de agregar ningún combustible y, por adición de cal, se forma la escoria en que se fijan otras impurezas como azufre y parte de fósforo. Una vez finalizada la inyección de oxígeno se analiza su composición y se mide su temperatura, agregando finalmente las ferroaleaciones que imparten las características principales a los diversos tipos de aceros.

El tiempo requerido para procesar una hormada de 115 toneladas en aproximadamente 42 minutos. El acero líquido así producido se recibe en cucharadas de 115 toneladas de capacidad y se envía a un proceso de metalurgia secundaria y luego al vaciado de colada continua de planchones o palanquillas según su composición química.

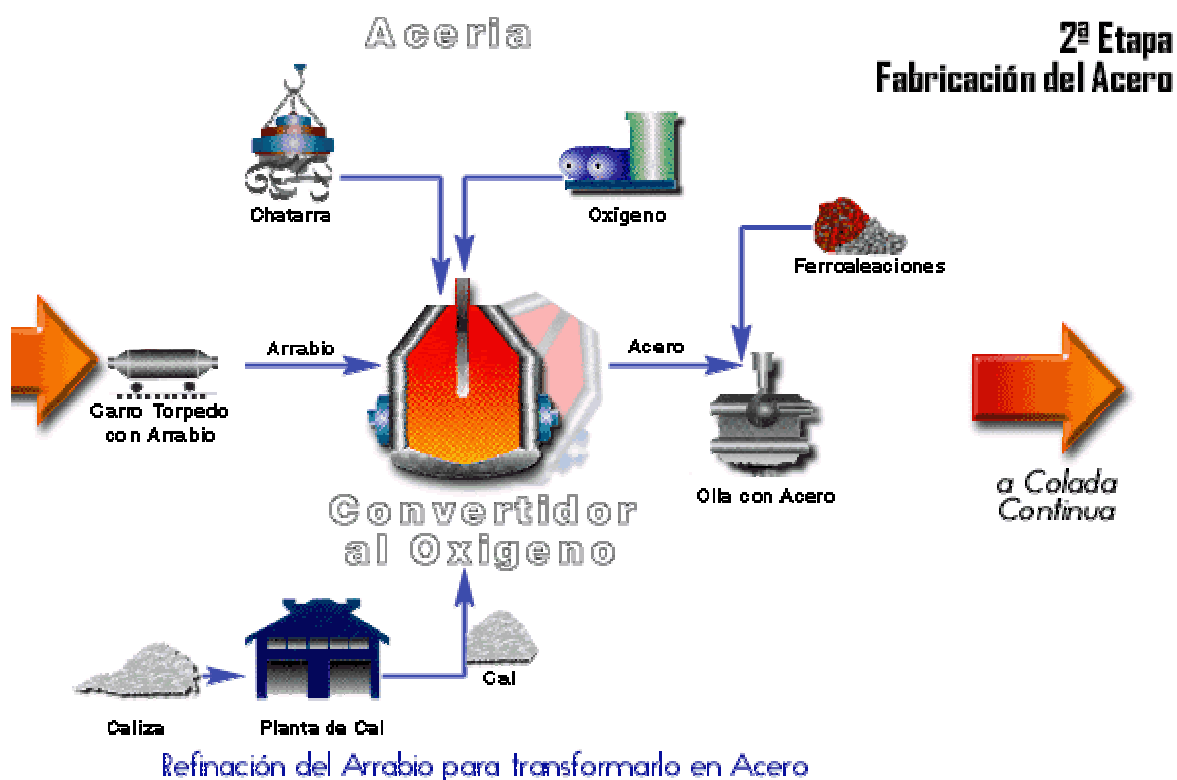


Figura 2.3: Proceso de refinación de Arrabio

Fuente: Infoacero, CAP S.A. [en línea] <<http://www.infoacero.cl/procesos/siderur.htm>> [consulta: 30 Octubre 2005]

- a) *Colada continua de Planchones*: El acero líquido de la cuchara es vaciado a una artesa que se comunica por el fondo con un molde en constante movimiento que es enfriado por agua; en él se inicia el proceso de solidificación del acero que se completa a lo largo del trayecto por el interior de la máquina.

El planchón que se produce es una cinta continua con un espesor de 156 mm., un ancho que varía entre 800 y 1.050 mm. y que a la salida, se va cortando a los largos requeridos.

- b) *Colada continua de Palanquillas*: La máquina de colada continua de palanquillas, cuenta con 5 líneas conformadas por tubos de cobre de sección cuadrada con refrigeración interna por agua, con sistema de enfriamiento controlado a lo largo de la hebra y un agitador electromagnético al final de la hebra para prevenir segregación en aceros alto carbono.

Una vez que se ha formado una piel suficientemente gruesa dentro del molde, la hebra inicia su recorrido curvo dentro de la máquina, sometida a la acción de rociadores de agua controlados en función de la velocidad de la máquina.

Al término de esta zona la hebra es enderezada mediante rodillos y cortada a la dimensión especificada por sopletes de oxígeno-propano para terminar siendo estampada con un número identificador.

La palanquilla terminada de 150 x 150 mm. de sección y 6,70 metros de largo, es trasladada mediante mesas de empuje, mesas de rodillos y una mesa galopante hasta la zona de despacho desde donde es cargada mediante una grúa dotada de electroimanes a carros de ferrocarril o camiones según su destino final.

2.2.4.4 Laminación del Acero en Productos Terminados Finales.

a) *Laminador de Barras*: Las palanquillas se procesan en este laminador en el cual después de ser recalentadas en un horno se laminan en pases sucesivos y se transforman en barras redondas lisas o con resaltes para hormigón, todos ellos, productos terminados ampliamente utilizados como materiales de construcción y en la manufactura de alambres, clavos, tornillos, bolas para molinos, pernos, etc.

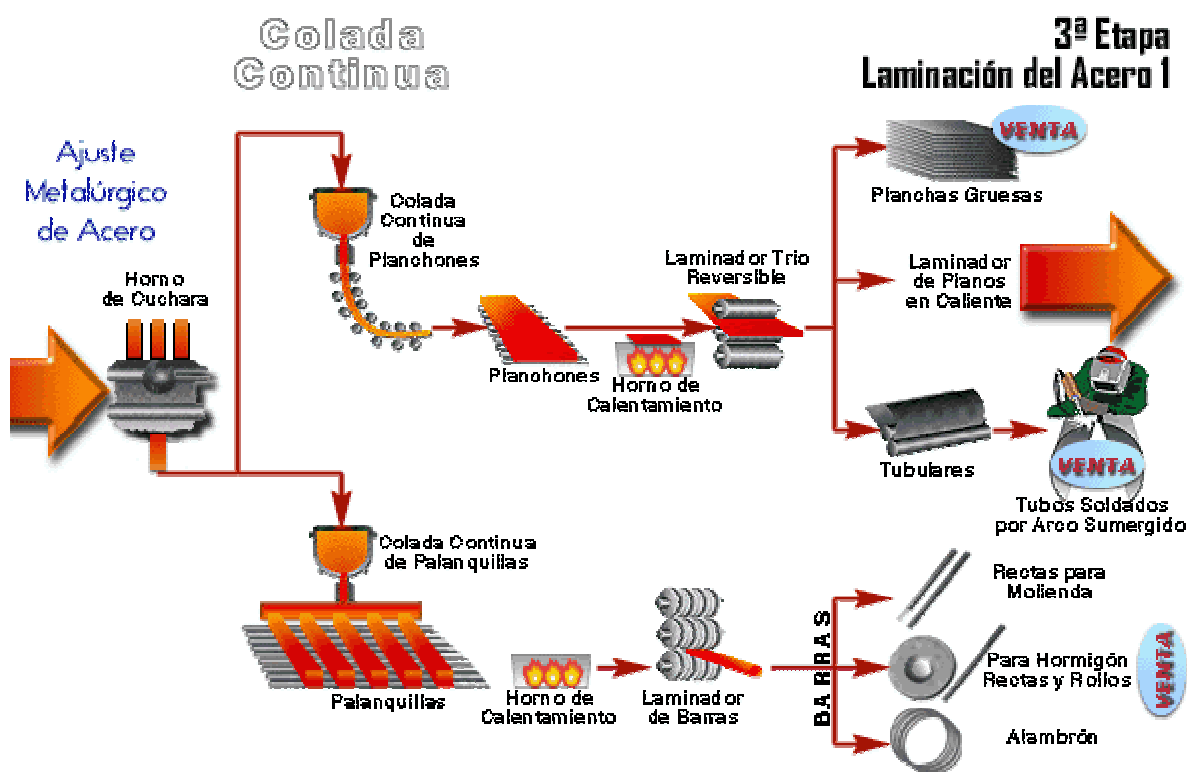


Figura 2.4: Proceso Colada Continua de planchones, palanquillas y Laminador de Barras.

Fuente: Infoacero, CAP S.A. [en línea] <<http://www.infoacero.cl/procesos/siderur.htm>> [consulta: 30 Octubre 2005]

Laminador planos en caliente: Los planchones que produce la Colada Continua son sometidos a laminación en caliente, con lo cual se reduce el espesor y aumenta su longitud.

El proceso comienza calentando el material en un horno con una capacidad de 150 toneladas/hora. Una vez alcanzada la temperatura requerida, los planchones son reducidos en su espesor, primero en un Laminador Trio, el que mediante pases sucesivos entrega un semilaminado de 25 mm (plancha gruesa), para pasar posteriormente al laminador continuo de seis marcos y obtener rollos de aproximadamente 8,5 toneladas de peso, cuyas dimensiones finales van de 725 a 1.050 mm de ancho por 1,8 a 12,0 mm de espesor.

Una parte de los productos obtenidos en este laminador, va directamente al mercado, tanto en forma de rollos o planchas, donde encuentra una gran aplicación en la industria, y la otra parte de rollos, continúa su proceso en el Laminador de Planos en Frío.

3ª Etapa Laminación del Acero 2

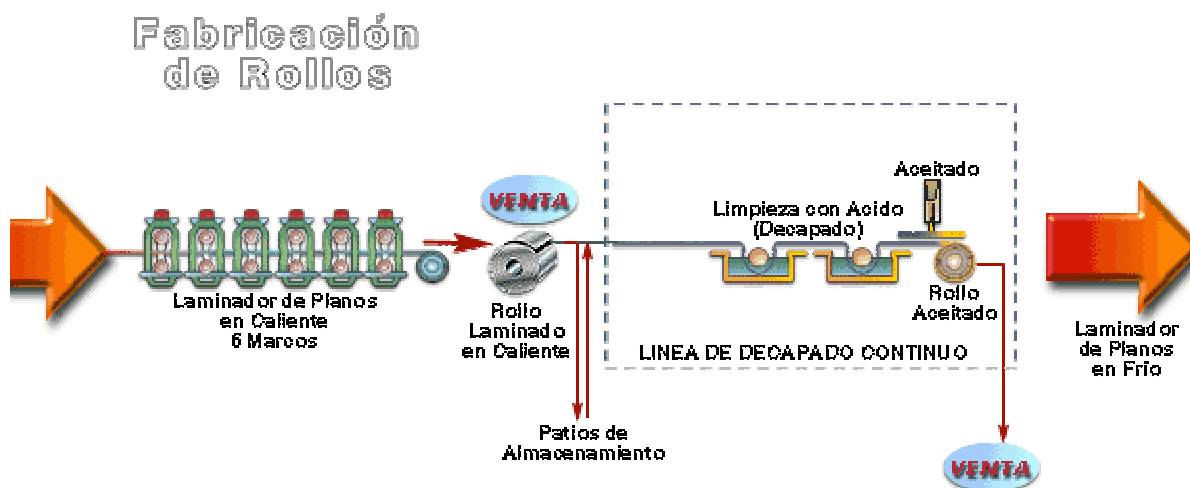


Figura 2.5: Proceso Laminación Planos en Caliente.

Fuente: Infoacero, CAP S.A.[en línea] <<http://www.infoacero.cl/procesos/siderur.htm>> [consulta: 30 Octubre 2005]

a) *Laminador Planos en Frío*: A los rollos laminados en caliente, que se destinan a la fabricación de productos planos laminados en frío, se les somete al proceso de decapado para eliminar los óxidos y laminación en frío para disminuir el espesor. En esta etapa, una parte de los rollos son procesados en la línea Zinc-Alum, para obtener productos recubiertos con una aleación de Zinc y Aluminio, necesarios en la construcción.

El resto de los rollos son sometidos a limpieza electrolítica para eliminar el aceite empleado en la laminación en frío; recocido en atmósfera protectora, que puede ser en Hornos o en línea de recocido continuo para eliminar la acritud dada por el trabajo mecánico realizado en frío, y laminador de temple para eliminar las líneas de fluencia, corregir la forma y dar la terminación superficial requerida.

Una fracción de los rollos templados que resultan se despacha a los clientes, como tales o cortados previamente en planchas, para ser usados en la industria metalmeccánica. Otra fracción de ellos es estañada en la línea de Estañado Electrolítico para obtener hojalata apta para la industria conservera.

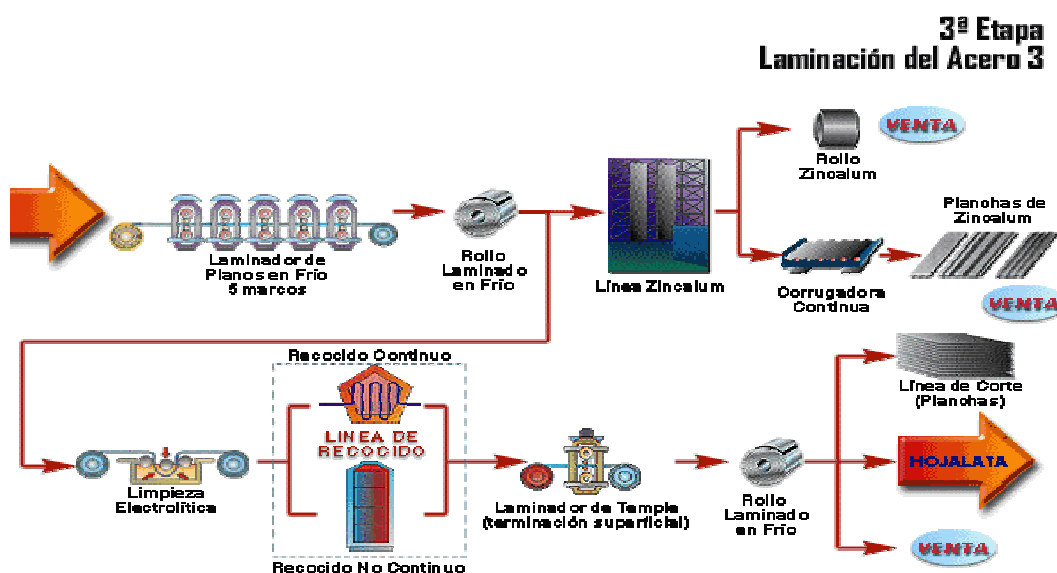


Figura 2.6: Proceso Laminación Planos en Frío

Fuente: Infoacero, CAP S.A. [en línea] <<http://www.infoacero.cl/procesos/siderur.htm>> [consulta: 30 Octubre 2005]

3ª Etapa Laminación del Acero 4

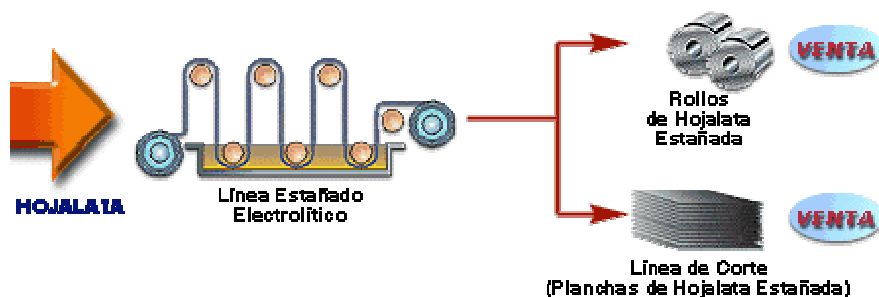


Figura 2.7: Proceso estañado electrolítico para rollos y planchas de hojalata.

Fuente: Infoacero, CAP S.A. [en línea] <<http://www.infoacero.cl/procesos/siderur.htm>> [consulta: 30 Octubre 2005]

- b) *Productos Tubulares:* De la producción de planchas gruesas del laminado de Planos en Caliente, una parte se destina a la fabricación de tubos de gran diámetro, soldados por arco sumergido de 356 a 2.210 mm de diámetro.

Capítulo 3

Análisis de la situación actual

3.1 Sección Rodillos de la Compañía Siderúrgica Huachipato.

La Unidad Laminador de Barras Talcahuano, está dividida en dos Secciones: Sección Laminación y Sección Rodillos. Esta última es una Unidad Funcional de Servicios Crítica, definida de esta forma por los altos ejecutivos de la Unidad Laminador de Barras Talcahuano, la cual tiene como objetivo general prestar un servicio de recuperación de excelencia de rodillos, anillos y cuchillos a todos sus clientes.

Los clientes de la Sección Rodillos, corresponden a los 4 laminadores pertenecientes a CSH S.A.: Laminador Planos en Frío, Laminador Planos en Caliente, Laminador de Barras Talcahuano y Laminador de Barras Rengo.

Esta Sección está conformada por un Taller de Máquinas y Herramientas. En ella trabajan 59 personas entre personal CSH (29) y personal contratista Montepiedra (30).

Tiene como objetivo general "Prestar un servicio de recuperación de excelencia de los rodillos, anillos y cuchillos a todos los laminadores pertenecientes a CSH".

En el Taller de Rodillos se llevan a cabo cuatro procesos relacionados con la recuperación de rodillos, anillos y cuchillos: Rectificado, Torneado, Ribeteado y Electroerosionado.

Los rodillos, anillos y cuchillos llegan como se detalla a continuación:

- Laminador de Barras Talcahuano (LBT en adelante): Llegan rodillos, anillos y cuchillos.
- Laminador de Barras Rengo (LBR en adelante): Llegan sólo rodillos.
- Laminador Planos Caliente (LPC en adelante): Llegan rodillos y cuchillos.
- Laminador Planos Frío (LPF en adelante): Llegan rodillos y cuchillos. Este laminador está integrado por:
 - Laminador Temple (LT en adelante), y
 - Laminador Reductor Frío (LRF en adelante).

Los rodillos que son recuperados en el Taller, son utilizados en los diferentes laminadores (LBT, LBR, LPF, LPC), dependiendo de su medida y marco de laminación.

Los anillos que se recuperan son anillos de laminación, entre los cuales se pueden encontrar: anillos de fundición (hierro fundido), anillos de carburo tungsteno (WC) y anillos de arrastre (tanca), por último se encuentran los cuchillos para guillotina de corte, los cuales también se recuperan.

Todos estos procesos permiten dejar los rodillos, anillos y cuchillos nuevamente operativos y en condiciones de ser utilizados en los laminadores.

La programación de la producción se hace basándose en las órdenes de venta y estándares de producción de cada laminador.

Debido a que no todos los rodillos, anillos y cuchillos tienen igual tamaño, diámetro, rugosidad, especificaciones y características, deben ser recuperados en diferentes máquinas y en distintas condiciones de operación. Además cuando existen cambios no programados, como pedidos especiales de clientes, estos

programas cambian, es decir, la producción de rodillos está en directa relación con lo que acontece en los laminadores.

3.2 Organigrama de la Sección Rodillos.

En la siguiente figura se muestra la organización interna del Taller, donde aparecen las diferentes cargos y la cantidad de personal designada a estos:

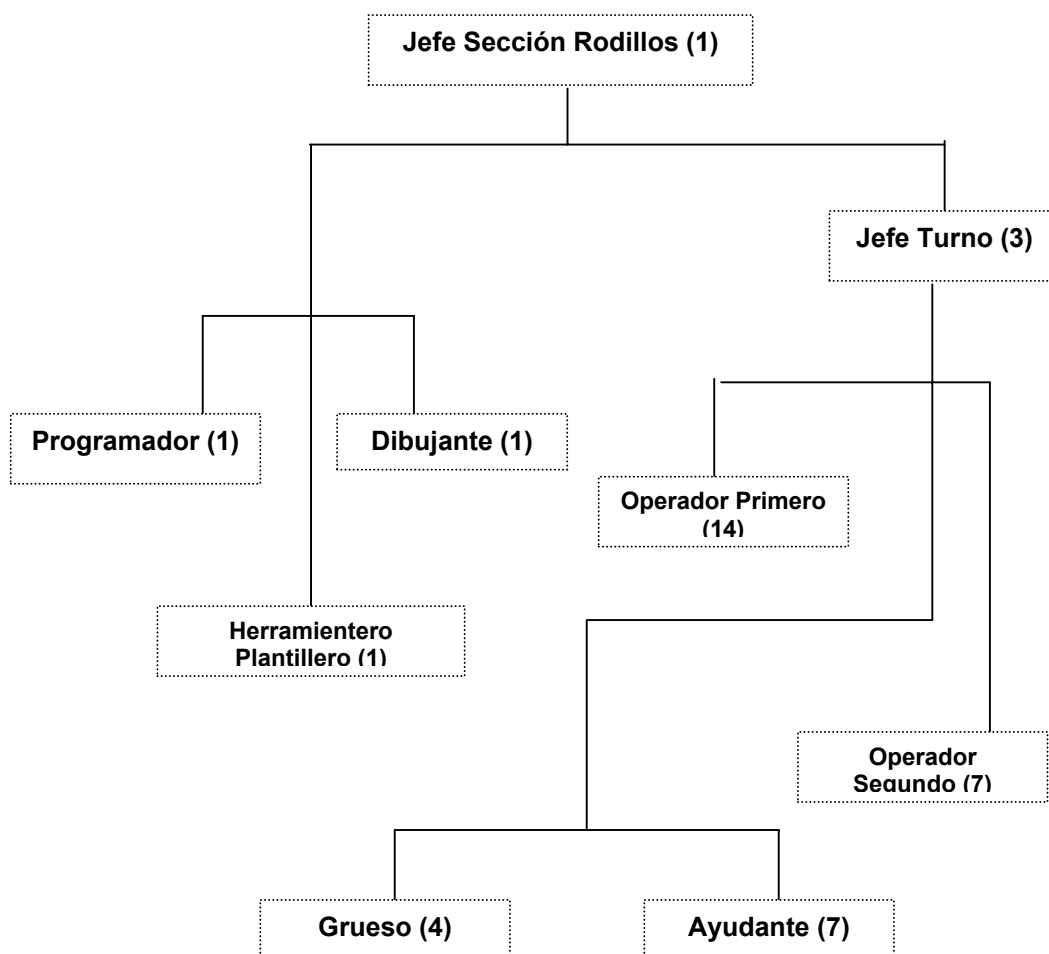


Figura 3.1: Organigrama Sección Rodillos.

Fuente: Compañía Siderurgica Huachipato S.A. [en línea] <<http://www.huachipato.cl/intranet.html>> [consulta: 20 Octubre 2005]

3.3 Procesos del Taller

3.3.1 ETAPA 1: Usuario

El proceso se inicia cuando los Usuarios (LBT, LBR, LPC, LPF) solicitan servicio al Taller para que recuperen los rodillos, anillos y cuchillos, donde se tiene:

- Rodillos de Fundición del LBT y LBR.
- Rodillos de Fe y Cr del LPC.
- Rodillos de Acero Forjado del LPF.
- Anillos de laminación (anillos de fundición, anillos de WC), Anillos de arrastre y Cuchillos para guillotina.

3.3.2 ETAPA 2: Suministro de Rodillos

En el caso de que se necesiten elementos de laminación nuevos, éstos son solicitados al Departamento de Materiales por los Usuarios.

3.3.3 ETAPA 3: Recepción en Taller

Las cargas de trabajo (programa de laminación cuatro semanas) provenientes del LBT son entregadas por el programador de laminación al Jefe de Turno. Las provenientes del LBR, se realizan a través de correo electrónico dirigidas directamente al Superintendente del LBT, Sr. Daniel González, y las que llegan, del LPC y LPF (también a través de correo electrónico), van dirigidas al Jefe de Turno. Desde Mantenimiento Mecánico llegan órdenes de trabajo, las que se entregan personalmente al jefe de turno por un mecánico. El jefe de turno, con toda esta información, programa las máquinas del Taller de Rodillos, de acuerdo a la disponibilidad de máquinas, personal y requerimientos del Usuario.

3.3.4 ETAPA 4: Rectificado

Al llegar el rodillo a la rectificadora se detecta si este tiene grietas o magulladuras. Esta detección se puede hacer por el operador sólo observando (experiencia) el rodillo o bien con máquinas capacitadas para esto. Luego, el rodillo se desbasta (se elimina el desgaste, las grietas, hendiduras, quemaduras, latas pegadas en la superficie), con una piedra diamantada de carburo, de silicio u óxido de aluminio, la cual esta instalada en la rectificadora.

Si se están rectificando rodillos planos se les mide el diámetro en el centro y en ambos extremos para corroborar que tienen la misma medida. En el caso de rodillos cóncavos y/o convexos se comprueba la igualdad de los diámetros extremos (el diámetro central es distinto al de los extremos) y la igualdad del diámetro central de acuerdo a requerimientos del cliente. Luego, estos rodillos se pulen hasta quedar listos para despachar. En esta etapa también se rectifican elementos planos (cuchillos, bloques (herramienta de corte)), piedras diamantadas y cuchillos circulares.

3.3.5 ETAPA 5: Torneado

En esta etapa se reduce el diámetro de los Rodillos del LBT, LBR, LPC, LPF y Anillos de Fundición (del Desbaste: Stand 1-6), mediante herramienta de corte (bloques, herramientas calzadas o cerámicas, acero rápido y tapones (widia o circle C)).

Los rodillos que llegan del LPC y LPF con magulladuras y grietas muy grandes, primero se Tornean para eliminarlas y luego se Rectifican.

3.3.6 ETAPA 6: Ribeteado

En esta etapa se realiza el resalte a los Anillos de WC y Anillos de Fundición, ambos del LBT. Este proceso también se les realiza a los Rodillos del LBT y LBR para laminar hormigón.

3.3.7 ETAPA 7: Electroerosionado

En esta etapa se inscribe el código de identificación del producto (estampa la sigla CAP e inmediatamente después el diámetro nominal, ejemplo: CAP 8) a los rodillos provenientes del LBR y LBT, Anillos de WC y de fundición del LBT. Los anillos de arrastre (provenientes del LBT) también se electroerosionan, pero sólo para codificarlos.

3.3.8 ETAPA 8: Almacenamiento

En la etapa de almacenamiento, cada operador es responsable de su trabajo, es decir, él una vez terminada la reparación del Rodillo, da la orden para el almacenamiento, previamente solicitando a la grúa. Los Rodillos se almacenan en los Porta a la espera de carro FFCC, camión u otro.

3.3.9 ETAPA 9: Despacho

Por último, los elementos de laminación se despachan, previamente aprobados por el jefe de turno a los laminadores respectivos (LBT, LBR, LPC, LPF) o bien se desechan en la forma de Scrap.

3.4 Productos del taller

3.4.1 Rodillos

Elementos utilizados en los laminadores para dar forma a los productos que Huachipato vende a sus clientes. Estos trabajan en parejas, los cuales están identificados por códigos teniendo las siguientes características:

- Una determinada convexidad (micro inch, pulgadas).
- Una determinada rugosidad (pulgadas).
- Diámetro
- Medida (pulgadas)
- Marco asignado para el tipo de laminación a utilizar.

3.4.1.2 Tipos de rodillos:

- Rodillos de fundición del LBT y LBR
- Rodillos de Fe y Cr del LPC (código comienza con F y C)
- Rodillos de acero forjado del LPF
- Rodillos de laminador temple: Rugosos 0,3 convex. 60 mi, Brillantes 0,3 convex. 20 mi, Planos rugosidad 50 mi

➤ Medidas de rodillos recuperados en el taller (en pulgadas):

En la tabla 3.1 se describe los tipos de rodillos que se recuperan en el Taller, clasificados según medida y procedencia:

Medida	Procedencia	Medida	Procedencia
22*48	LPF	27*68 FIERRO	LPC
19*48	Lamin. TEMPLE	54*68	APOYO(BACKUP) LPC
53*48	LPF	34*100	Lamin. TRIO
22*48 AC	LPC	22*100	Lamin. TRIO
14*27	LBT	12*17	LBT
14*22	LBT	250*400	LBR
500*1500	LBR	320*750	LBR

Tabla 3.1: Medida de los rodillos

Rugosidades y convexidades: Variables según el tipo de marco especificado para el rodillo.

3.4.2 Anillos:

Los tipos de anillos recuperados en el Taller son:

- Anillos de fundición (hierro fundido)
- Anillos de carburo tungsteno (WC)
- Anillos de arrastre.

Estos anillos provienen del LBT y en las tablas 3.2 y 3.3 se puede apreciar la clasificación de estos, según el destino que tienen dentro del Taller (hacia tornos o laboratorio):

Medida	Procedencia
480*215	LBT
650*300	LBT

Tabla 3.2: Medidas anillos LBT para torno.

Mc	Dimensión	Diámetro Ext.	Diámetro int.	L	ítem
Anillos de laminación Mc E-F-H-L-N DUO diámetro Normal					
	280"x55"	292	150	55	19
Anillos de laminación Mc A-B-C-D 200/160 diámetro Normal					
A	200"x72"	212	120	72	20 A
B	160"x62"	160	95	62	20 B
C	160"x44"			44	20 C
D	160"x32"			32	20 D

Tabla 3.4: Medidas anillos LBT para laboratorio.

3.4 Componentes del Taller.

3.4.1 Rectificadoras

Máquinas encargadas de la recuperación de rodillos, anillos y cuchillos provenientes del LPF, LPC, LBT y LBR.

1) *Rectificadora Herkules 1*: Ésta máquina utiliza piedras de carburo silicio y óxido de aluminio para rectificar rodillos del LPF, LT y cuchillos circulares. Esta máquina rectifica:

- Rodillos del LPF y Temple
- Rodillos 22"*48" (LPF) y 19"*48" (L Temple: rugosos, Brillantes y planos)
- Trata rodillos marco 4 y 5.
- Máquina con capacidad para marcos 1 al 5
- No se hacen rodillos del marco 1 al 3 por ser una maquina terminadora

2) *Rectificadora Farrel*: La cual utiliza piedras de carburo silicio y óxido de aluminio para rectificar rodillos del LPC, LPF y cuchillos circulares. Esta máquina rectifica:

- Rodillos 34"*100" Rodillo de apoyo laminador trío (AC, LPC)
- Rodillos 22"*100" Rodillo medio utilizado en laminador trío (Fe, LPF)
- Rodillo 54"*58" Rodillo Respaldo en laminador terminador continuo (acero fundido o forjado, LPC)
- Rodillo 27"*68" Rodillo de trabajo en laminador terminador continuo
 - Rodillo AC (marco 1, 2, 3)
 - Rodillo Fierro (marco 4, 5, 6)

Esta rectificadora trata rodillos del marco 1 al 3 y desbasta rodillos demasiado dañados para luego pasar a terminación en Herkules 1 (desbasta para marco 4 y 5), dentro de los que encontramos:

- 19"*48" LPF o Temple
- 43"*48" LPF
- 22"*48" LPF Marco 1, 2, 3.

3) *Rectificadora Cincinnati 1*: Utiliza piedra de carburo de silicio y óxido de aluminio para rectificar rodillos del LPC y LPF y cuchillos circulares. Esta máquina rectifica:

- Rodillos 27"*68" del LPC.
- Rodillos 22"*100" del LPC.
- Rodillos 19"*48" del LT.

4) *Rectificadora Cincinnati 2*: Utiliza piedra de carburo de silicio y óxido de aluminio para rectificar rodillos del LPC y LPF y cuchillos circulares. Esta máquina rectifica:

- Rodillo de apoyo 53"*48" LT.
- Rodillo de apoyo 54"*68" LPF.
- Rodillo 22"*100" del LPC.
- Rodillo 27"*68" del LPC.
- Rodillo 34"*100" del LPC.

5) *Rectificadora Landis*: Utiliza piedra de carburo silicio y óxido de aluminio para rectificar anillos del LBT, rodillos del Laminador Plancha y del LPF.

- Rodillos tensores LPF y LPC de bajo diámetro (hasta 16")
- Anillos 280*55 del LBT

6) *Rectificadora Rogers*: Utiliza piedra segmentada de carburo de silicio y óxido de aluminio para rectificar elementos planos.

7) *Rectificadora Herkules 2*: Utiliza piedra diamantada para rectificar anillos del LBT. Esta máquina rectifica anillos del LBT cuya clasificación es: A(1-6), B(1-12), C(1-2), D(1-8), E, F, H, N, L.

8) *Rectificadora Doall*: Utiliza piedra de óxido de aluminio y piedra diamantada para rectificar elementos no cilíndricos (cuchillos, bloques, herramienta de corte).

9) *Rectificadora Cleveland*: Utiliza piedras de carburo de silicio para rectificar piedras diamantadas, prestando servicio a la Rectificadora Herkules N°2.

3.4.2 Tornos

Máquinas encargadas de recuperar anillos y rodillos provenientes del LBT y LBR. Estos son tornos de empuje, los cuales utilizan herramientas de corte ó widia (circle-C) ó bloques.

1) *Torno 0*: Trabaja rodillos 250*400 LBR (rodillos para hormigón 8 y Fierro de construcción) y rodillos 12*17 LBT.

2) *Torno 1*: Recupera Rodillos de 350*750 LBR (Si son rodillos lisos, terminan en torno 1; si está detenida la producción de hormigón, van hacia la Resitrón), rodillos 12*22 LBT (termina en torno 1) y rodillos 14*27 LBT (termina en torno 1).

3) *Torno 2*: Desbasta, recuperadora de anillos. Trabaja rodillos 500*1500 LBR y Anillos de desbaste 480mm*215 mm LBT.

4) *Torno 3*: Se rectifican anillos de 650mm*300mm LBT (termina en torno 3), Rodillos 500*1500 (termina en torno 3) y Anillos 480*215.

5) *Torno 4*: Para recuperación de rodillos de apoyo o Backup, los que luego van a la rectificadora Cincinnati 1, 2 o Farrel.

6) *Torno copiador*: rectifica rodillos de 12*17, 14*22, 14*27 y 18*24, los cuales terminan aquí de ser procesados y pertenecen al LBT.

7) *Torno Romi*: Utilizado para trabajos puntuales: (tornea accesorios del taller).

3.4.3 Ribeteadora.

1) *Planet*: Recupera rodillos de 350*750 provenientes del LBR.

3.4.4 Electroerosionadora

1) *Resitrón*: Esta máquina consta de un electrodo para estampar siglas y diámetros nominales (Ejemplo: CAP 8) en cada Pase del Rodillo. Lo característico de esta máquina es que tiene en el electrodo toda la sigla y diámetro a estampar, agilizando el proceso.

Rectifica rodillos de 350*750 LBR y de 12*17 LBT que vienen del torno 1 y del torno 0 respectivamente además de los rodillos de 250*400 que vienen del torno 0 y pertenece al LBR.

2) *Desintegradora Cammann*: Esta máquina posee en el electrodo una sola letra, es decir, estampa siglas y diámetros por letra, dificultando un trabajo rápido.

3.4.3 Grúa puente.

Encargada del transporte de los rodillos que llegan de los distintos laminadores. No se utiliza para trasladar los anillos recuperados en el laboratorio, los cuales se transportan con carro manual.

- Capacidad transporte: 1 Rodillo por viaje, máximo 30 de toneladas peso.
- Velocidad 152 m/s.
- Velocidad de carga y descarga: entre 1 a 2 minutos.

Capítulo 4

Conceptos de simulación

4.1 Conceptos de simulación.

La naturaleza de la simulación, radica en un conjunto de técnicas utilizadas para imitar o simular sus procesos reales. Estos procesos son usualmente llamados sistemas los cuales están conformados por supuestos que toman formas matemáticas y forman relaciones lógicas. Estas relaciones, constituyen el modelo que será usado para obtener un mayor conocimiento acerca de cómo se comporta el sistema¹.

Como los sistemas del mundo real son demasiado complejos, en comparación a problemas que pueden ser solucionados en forma analítica, es necesario hacer un estudio de simulación para solucionar o detectar problemas que se puedan presentar en dichos sistemas.

Para imitar un sistema real, se lleva a cabo por medio del uso de un lenguaje de programación computacional, el cual nos permite modelar dicho sistema de manera virtual, pudiendo medir el desempeño de los elementos que lo conforman, y así proponer alternativas con el fin de mejorar el funcionamiento de éste.²

¹Law, Averill M, y Kelton, W. David. 2000. Nature of Simulation. En: Simulation modeling and analysis. 3rd ed. The United State of America. McGraw-Hill. pp. 10-13.

²Sheldon M.Ross. 1999. Simulación. Department of Industrial Engineering and Operations Research 2nd edition. University of California, Berkeley, California, E.E.U.U. Prentice Hall.

4.2 Pasos en un modelo de simulación.

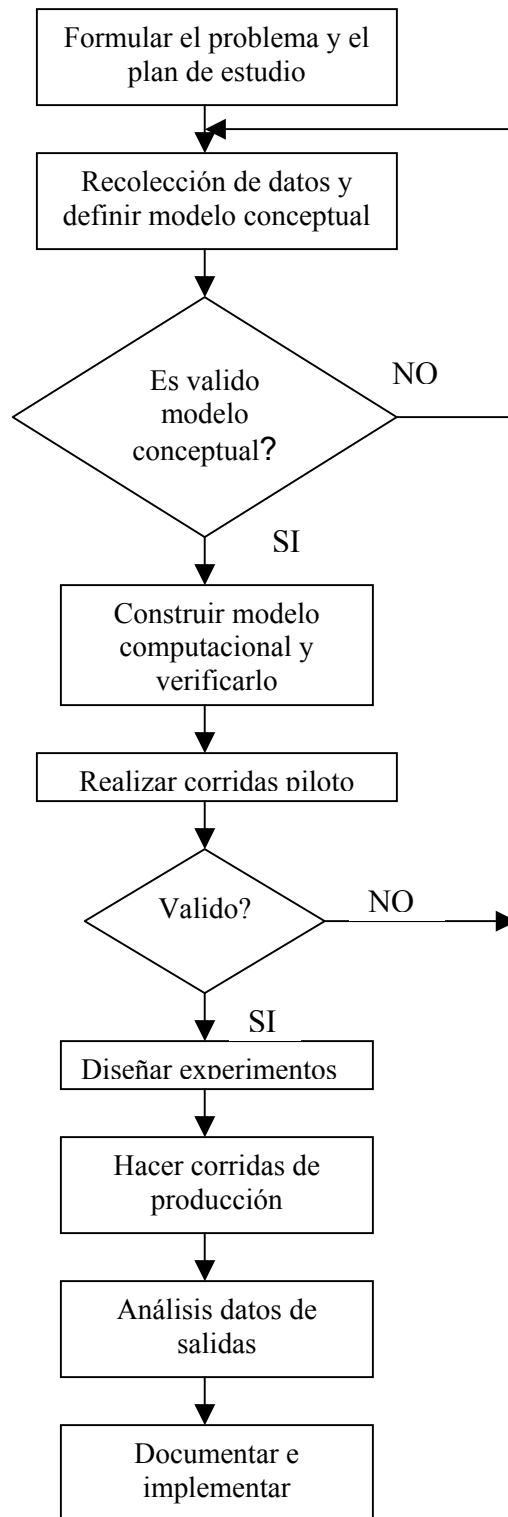


Figura 4.1: Pasos para construcción de un modelo de simulación.

Fuente: ¹Law, Averill M, y Kelton, W. David. 2000. Nature of Simulation. En: Simulation modeling and analysis. 3rd ed. The United State of America. McGraw-Hill.

A continuación se procederá a describir los pasos para la construcción de un modelo de simulación presentes en la figura anterior:

4.2.1 Formular el problema y definir el estudio:

- a) Conocer el problema de interés indicado por la persona a cargo.
- b) Múltiples reuniones dirigidas, con el encargado del proyecto, los analistas de simulación y los expertos en el área. Los puntos a tratar son los siguientes:
 - Plantear todos los objetivos del estudio.
 - Especificar preguntas que responderá el estudio.
 - Medidas de desempeño que serán usadas para evaluar la eficacia de diferentes configuraciones del sistema.
 - Alcance del modelo.
 - Configuración del sistema a modelar.
 - Software a utilizar.
 - Marco de tiempo y recursos requeridos para el estudio.

4.2.2 Recolección de datos y definir el modelo conceptual.

- a) Recolectar información del layout del sistema y sus procedimientos operativos.
- b) Recolectar datos para especificar parámetros y distribuciones de probabilidad de entrada del modelo.
- c) Recolectar datos para evaluar desempeño actual del sistema.
- d) Transformar la información en un modelo conceptual.
- e) Interactuar con el encargado para ver las bases regulares.

4.2.3 Validación de modelo conceptual.

4.2.4 Construcción de un programa computacional y verificar.

- a) Programar el modelo en un lenguaje computacional o en un software de simulación.
- b) Verificar la programación computacional del modelo de simulación.

4.2.5 Realizar corridas pilotos.

4.2.6 Validación programación modelo de simulación.

- a) Comparación del desempeño de modelos de simulación con el sistema existente.

4.2.7 Diseñar experimentos.

Especificar lo siguiente para cada configuración de interés:

- a) Largo de las corridas.
- b) Tiempo de calentamiento apropiado.
- c) Estimar número de replicas necesario.

4.2.8 Análisis de datos de salida.

Los dos principales objetivos en el análisis de datos de salida son:

- a) Determinar el desempeño del sistema.
- b) Comparar las diferentes alternativas de configuración del sistema.

4.2.9 Documentar e implementar.

- a) Documentar el desarrollo del programa computacional y los resultados para su actual y posterior uso.

Usar animación del modelo para comunicar los detalles del modelo a los encargados del proyecto y la gente relacionada con este.

4.2 Modelamiento

Los componentes presentes para el desarrollo del modelamiento de nuestro sistema son los siguientes:

- **Entidades:** Objetos dinámicos de la simulación que fluyen dentro del sistema, y luego se retiran. La mayoría de las entidades representan elementos reales.
 - Rodillos Laminador Planos en Frío: 22*48, 19*48, 53*48.
 - Rodillos Laminador Planos en Caliente: 22*100, 54*68, 27*68.
 - Rodillos Laminador de Barras Talcahuano: 14*27, 12*17, 14*22.
 - Rodillos Laminador de Barras Rengo: 250*400, 320*750, 500*1500.
 - Anillos Laminador de Barras Talcahuano: A(1-7), B(1-12), C(1-2), D(1-8), E, F, H, L, N, 480*215, 650*300.
- **Atributos:** Es una característica de la realidad, estos se acoplan a las entidades y se mueven con ellas a través del sistema permitiendo su diferenciación. Un atributo es una característica de todas las entidades, pero con un valor específico para cada una, que difiere entre una entidad y otra (color, altura, diámetro, etc.). También se conocen como variables locales. Para este modelo de simulación el atributo fue la medida del rodillo al cual se le asignó un valor (tipo = número) dependiendo de ésta y su destino.

- **Variables:** Es una pieza de información que define el estado del sistema en un momento dado, son independientes de las entidades pero pueden ser modificadas por éstas. Es importante señalar que un modelo puede tener muchas variables. También se conocen como variables globales. En el sistema representado se tienen variables tales como el tiempo de proceso en cada locación, niveles de producción, turno, tiempos de fallas, etc. Dentro de las variables presentes en el modelo se encontraron:
 - Tiempo de carga y descarga de rodillos (Grúa puente).
 - Tiempo setup (ajuste rectificadoras y tornos).
 - Tiempo de falla.
 - Tiempo de mantención.
 - Tiempo de rectificado.

- **Locaciones ó Recursos:** Representan elementos que son solicitados por las entidades (cajero, operario, enfermero, etc.). Las entidades toman un recurso cuando éste está disponible y lo liberan cuando terminan de usarlo. Una entidad puede requerir uno o varios recursos a la vez dependiendo de la situación. Cabe destacar que las locaciones pueden ser consideradas como recursos diferenciándose estos en su movilidad. Los recursos presentes en el modelo fueron:
 - Rectificadoras (9).
 - Tornos (7).
 - Ribeteadoras (1).
 - Electrerosionadora (2).
 - Grúa puente (1).

- **Colas:** Lugar donde las entidades esperan por un recurso que está siendo ocupado por otra entidad. Aquí las colas representaron las zonas de almacenamiento del taller.

- **Acumuladores estadísticos:** Variables que llevan registros de medidas de efectividad del sistema (mayor tiempo que una entidad permaneció en cola, tiempo total que las entidades llevan en cola). Así estuvieron presentes: contadores de rodillos terminados por máquina, cálculo de factor de utilización, registro de tiempo de proceso.

- **Restricciones:**

Se debieron considerar ciertas restricciones propias al modelo tales como:

- Tipo de rodillo.
- Lógicas de movimiento (se pueden procesar ciertos productos en máquinas específicas).
- Tiempo de rectificado de las máquinas.
- Capacidad de las rectificadoras, zonas de almacenamiento y grúa.

Para realizar el modelamiento del Taller de Rodillos de la Cía. Siderúrgica Huachipato S.A., se realizó sobre la base de módulos o templates, el cual es una construcción que representa un elemento o un conjunto de elementos en un sistema simulado.

En el template se definieron las características que se confirieron al elemento representado, es decir, cada template fue creado mediante la programación de sus funciones, parámetros requeridos e interfaz de usuario.

Posteriormente se definieron los procesos que cada tipo de entidad sigue en el sistema, es decir, cada proceso se asoció con una secuencia de templates. Cabe mencionar, que un template puede ser visto como un modelo de simulación en sí mismo.

4.3 Supuestos u omisiones.

4.4.1 Omisiones

No se consideraron para el modelamiento del Taller de rodillos de la Cía. Siderúrgica Huachipato, las siguientes máquinas:

- Rectificadora Rogers, Doall: rectificadora de cuchillos.
- Rectificadora Cleveland: recuperadora de piedras Herkules 2.
- Torno 4: recuperadora rodillos Backup.
- Torno Romi: torno para trabajos puntuales.
- Rectificadora Landis: rectifica rodillos del LPF y LPC.

Todas las máquinas omitidas que recuperan cuchillos, no se consideraron debido a la amplia gamma de productos diferentes que existen, lo que dificultaba la simulación de éstas, y además de que no influyen en los objetivos del estudio.

De igual manera ocurre con la rectificadora Cleveland y el torno Romi los que aunque no estuvieron en el modelo, también fueron irrelevantes respecto a los objetivos de la simulación. No así con respecto al torno 4 y a la rectificadora Landis, ya que éstas ocupan el recurso grúa puente, pero debido a que no se encontraban en funcionamiento tiempo antes de comenzar el estudio (aproximadamente un año) y hasta la fecha presente de finalización del este, se consideró en conjunto con el Jefe de la Sección Rodillos que no fuera necesario incluirlos dentro del modelo de simulación.

4.4.2 Supuestos.

Los supuestos considerados dentro del modelo fueron respecto a la distribución interna de los rodillos a la cual se le asignó un porcentaje dependiendo del tipo de rodillo (por ejemplo, rodillo a terminación o rodillo a desbaste), el cual se extrajo del muestreo que se realizó en el taller de rodillos y de los registros de información

histórica que allá se manejan. Se aplicó el mismo criterio para el análisis de los escenarios para las diferentes alternativas de reemplazo.

4.5 Simulación Taller de rodillos.

A continuación se describirá con mayor detalle la simulación del Taller de Rodillos de la Compañía Siderúrgica Huachipato S.A., la cual se realizó utilizando el software de simulación Flexsim, haciendo reseña la programación utilizada en el modelo, la cual sirvió para realizar la simulación de los diversos procesos y decisiones que se toman dentro del Taller. También se mencionaran diferentes componentes que forman el modelo de simulación:

4.5.1 Layout.

Para poder tener una idea física de los que es el Taller de Rodillos de la Cía. Siderúrgica Huachipato, tenemos el layout del taller donde encontramos la distribución física de la máquinas y zonas de almacenamiento que lo conforman. Además proporciona las distancias que debe recorrer la grúa puente, la cual traslada la mayoría de los productos procesados en el Taller, como se muestra en la figura 4.2:

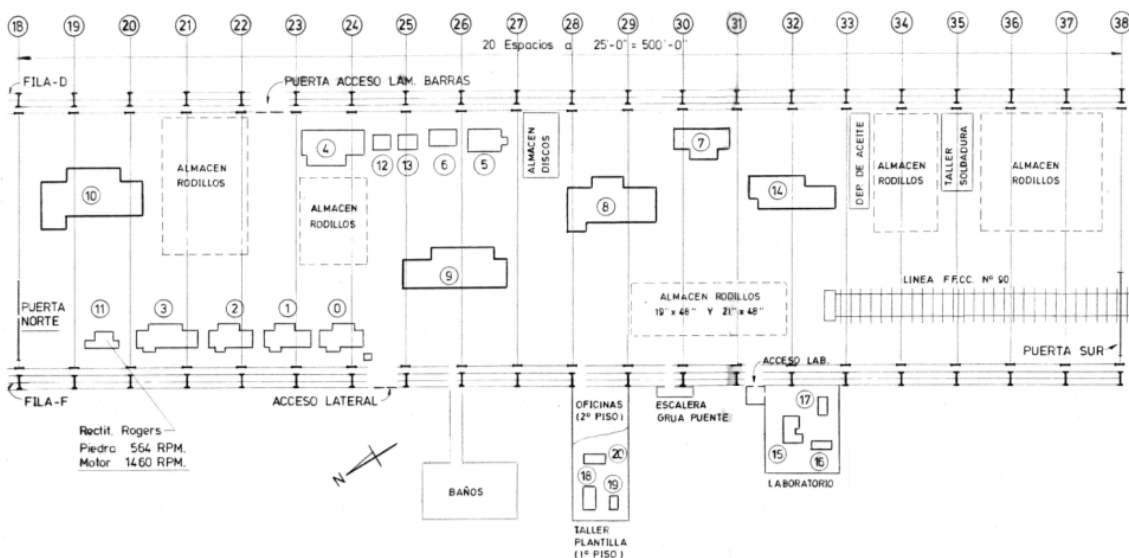


Figura 4.2: Layout Taller de Rodillos.

Fuente: Sala diseño Taller de Rodillos.

4.5.2 Características de los productos.

Los rodillos y anillos tuvieron 3 características particulares las cuales sirvieron para identificarlos y realizar cálculos de tiempos necesarios para este estudio. Dichas características estuvieron asignadas desde el momento en que el rodillo y/o anillo se genera en su respectivo source o fuente.

Como vemos en la figura 4.3, existe una lista con los diferentes rodillos y anillos, la que se encuentra en el lado izquierdo de esta, teniéndose al lado derecho la forma de dicho anillo o rodillo:

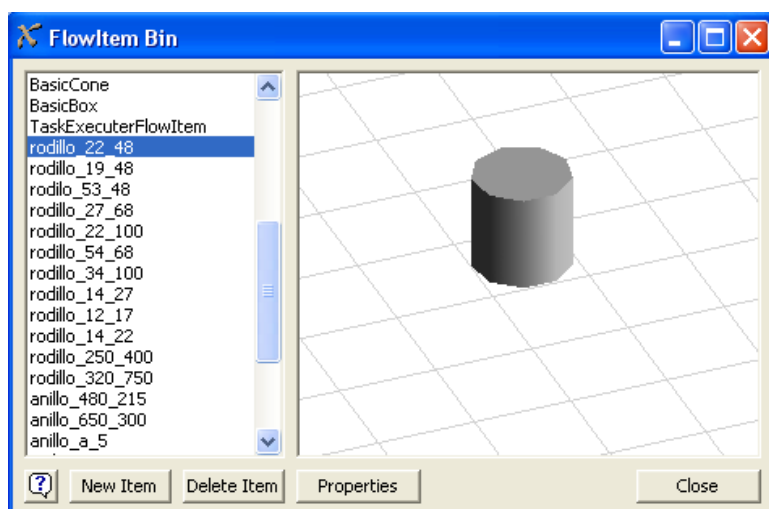


Figura 4.3: Rodillos y anillos para modelo.

La primera característica es la etiqueta o label, la cual tiene como nombre “tipo” y lleva un numero identificador el que le permite moverse dentro de las conexiones lógicas del modelo.

La segunda característica es el label “te” en el cual se almacena el tiempo de entrada al sistema para el calculo de FU de cada máquina.

La tercera característica es el label “tt” el cual almacena otro tiempo de entrada pero esta vez es para el cálculo del tiempo de proceso en casa máquina.

En la figura 4.4 se puede apreciar las propiedades de los anillos y/o rodillos, en donde se encuentran las características mencionadas anteriormente:

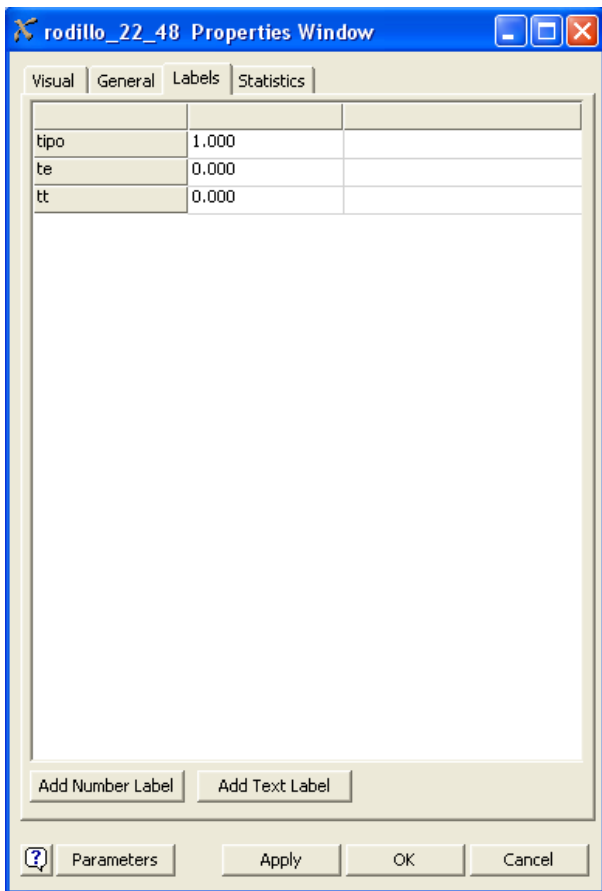


Figura 4.4: características de rodillos y/o anillos para la simulación.

4.5.3 Distribución Interna de rodillos.

La distribución interna de rodillos para las llegadas se realiza mediante porcentajes que se determinaron a través de los muestreos realizados en el Taller; en el modelo se generaron según la programación asignada y como ejemplo tenemos la distribución de rodillos de 27"x68":

```
fsnode* item = parnode(1);
fsnode* current = ownerobject(c);
/*
//PROSESTART
Send flowitem to the output port number defined by the following percentages:

Percent Port
-----
```

```
//PROSEEND
*/

double percent1 =
//PARAMSTART
55

//PARAMEND
;
```

```
//PROSESTART
//
//PROSEEND
```

```
double value1 =
//PARAMSTART
1
//PARAMEND
;
```

esta sección indica que el 55% de los rodillos de 27"x68" deben ser enviados al Puerto nº1.

```
/*
//PROSESTART

//PROSEEND
*/
```

```
double percent2 =
//PARAMSTART
12
//PARAMEND
;
```

```
//PROSESTART
//
//PROSEEND
```

```
double value2 =
//PARAMSTART
2
//PARAMEND
;
```

```
/*
//PROSESTART
```

```
//PROSEEND
*/
```

```
double percent3 =
//PARAMSTART
33
//PARAMEND
;
```

```
//PROSESTART
//
//PROSEEND
```

```
double value3 =  
//PARAMSTART  
3  
//PARAMEND  
;
```

repitiéndose hasta 10

```
double randomnum = uniform(0,100,1);
```

```
percent2 = percent1 + percent2;  
percent3 = percent2 + percent3;  
percent4 = percent3 + percent4;  
percent5 = percent4 + percent5;  
percent6 = percent5 + percent6;  
percent7 = percent6 + percent7;  
percent8 = percent7 + percent8;  
percent9 = percent8 + percent9;  
percent10 = 100;
```

```
if( randomnum<=percent1)  
    return value1;  
else if( randomnum<=percent2)  
    return value2;  
else if( randomnum<=percent3)  
    return value3;  
else if( randomnum<=percent4)  
    return value4;  
else if( randomnum<=percent5)  
    return value5;  
else if( randomnum<=percent6)  
    return value6;  
else if( randomnum<=percent7)  
    return value7;  
else if( randomnum<=percent8)  
    return value8;  
else if( randomnum<=percent9)  
    return value9;  
else if( randomnum<=percent10)  
    return value10;
```

La vista gráfica de esta asignación es como muestra la figura 4.4 :

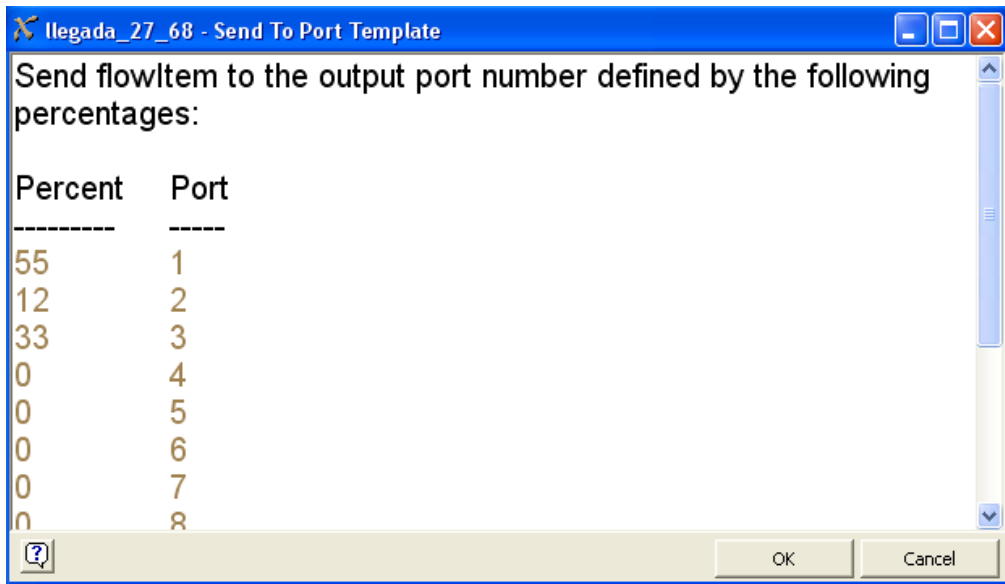


Figura 4.4: Distribución porcentual rodillos 27"x68".

Donde se puede ver que la distribución porcentual para los rodillos de 27"x 68" es 55% hacia el puerto 1 (Rectificadora Farrel), 12% hacia el puerto 2 (Rectificadora Cincinnati 1), y 33% hacia el puerto 3 (Rectificadora Cincinnati 2).

La distribución interna de rodillos desde las rectificadoras, tornos y máquinas que procesan productos en general, hacia las zonas de almacenamiento esta regida por la siguiente programación:

```

fsnode* item = parnode(1);
fsnode* current = ownerobject(c);
//PROSESTART
//Send the flowitem to a port number based on cases defined by the value of the label on
//PROSEEND

fsnode* involved =
//PARAMSTART
item
//PARAMEND
;
//PROSESTART
//called

```

```
//PROSEEND

char* labelname =
//PARAMSTART
"tipo"
//PARAMEND
;
//PROSESTART
//.
//PROSEEND

switch((unsigned int)getlabelnum(involved,labelname)){

//PARAMSTART
case 3: return 2;
case 7: return 2;
case 15: return 1;
case 19: return 1;
//PARAMEND
}
/*
//PROSESTART
Notes:
Case instances must be a valid label value.
Cases may be added or deleted as needed.
Use "current" to access the current object.
Use "item" to access the involved flowitem.
//PROSEEND
*/
```

En donde la vista gráfica se puede ver en la figura 4.5:

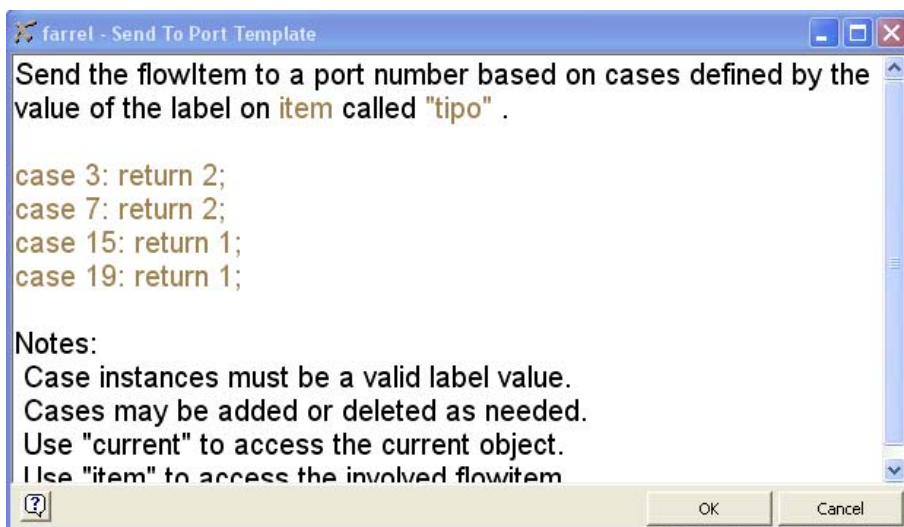


Figura 4.5: Pantalla envío rodillos a puerto de destino

Donde en número visualizado a continuación de “case” es el asignado al tipo de rodillo, y el número después de “return” es el asignado al puerto de destino correspondiente al tipo de rodillo.

La lista de Tipos de rodillo para cada “case” y sus respectivos destinos se encuentran en el anexo A.

4.5.4 Asignación de número identificador

a) En Rectificadoras:

Antes de que un rodillo y/o anillo ingresa a una máquina para su recuperación, este trae un numero identificador (tipo), el cual al hacer ingreso a una máquina cambia mediante la siguiente programación:

```
fsnode* item = parnode(1);
fsnode* current = ownerobject(c);
unsigned int port = (unsigned int) parval(2);
```

```
//PROSESTART
//ETIQUETAS
//PROSEEND
//PARAMSTART
```



```

//PARAMEND
//PROSESTART
//
//PROSEEND
double tipo=getlabelnum(item,"tipo");

//etiquetas por tipo de rodillo
if(tipo==1)
{
    setlabelnum(item,"tipo",4);
}
if(tipo==3)
{
    setlabelnum(item,"tipo",4);
}
if(tipo==5)
{
    setlabelnum(item,"tipo",8);
}
if(tipo==7)
{
    setlabelnum(item,"tipo",8);
}
;

```

Esta programación se ubica en los processors que son máquinas virtuales las cuales emulan a las reales, que dentro de sus propiedades encontramos los triggers los cuales se desglosan en diferentes partes y la programación mostrada anteriormente corresponde al trigger On entry específicamente.

Al realizar el cambio en el label, permite que el producto se mueva según las conexiones lógicas presentes en el modelo.

b) En colas de llegadas:

Estas colas cumplieron la función de reetiquetar los rodillos y/o anillos hacer la diferenciación entre, por ejemplo, rodillos para terminación y rodillos para desbaste.

La programación es similar a la anterior, donde solo cambió el número del label tipo según sea el caso.

La lista con los diferentes productos y sus respectivos números, se encuentra en el anexo A.

4.5.5 Registro de resultados.

En este punto veremos la programación necesaria para registrar resultados de cantidad de rodillos rectificadores por turno, factores de utilización por máquina, y tiempos de proceso por producto.

Primero tenemos para cantidad de rodillos rectificadores:

```

fsnode* item = parnode(1);
fsnode* current = ownerobject(c);
unsigned int port = (unsigned int) parval(2);

//PROSESTART
//programacion de controlador central
//PROSEEND
//PARAMSTART

//PARAMEND
//PROSESTART
//
//PROSEEND
double r=time();
double t=getlabelnum(current,"turno");

if(r==480*t)
{
t=t+1;
setlabelnum(current,"turno",t);
double espaciador=getlabelnum(current,"espaciador");
setlabelnum(current,"espaciador",espaciador+1);

//contador rodillos terminados hercules 1(total por turno)

double terminadosh1=getlabelnum(node("/h1",model()),"terminadosh1");
setlabelnum("terminados_por_maquina",espaciador+1,1,terminadosh1);
setlabelnum(node("/h1",model()),"terminadosh1",0);

//contador rodillos terminados Farrel (total por turno)

double terminadosfarrel=getlabelnum(node("/farrel",model()),"terminadosfarrel");
setlabelnum("terminados_por_maquina",espaciador+1,2,terminadosfarrel);
setlabelnum(node("/farrel",model()),"terminadosfarrel",0);

//contador rodillos terminados Cincinnati 1(total por turno)

double terminadoscc1=getlabelnum(node("/cc1",model()),"terminadoscc1");
setlabelnum("terminados_por_maquina",espaciador+1,3,terminadoscc1);

```

```

setlabelnum(node("/cc1",model()),"terminadoscc1",0);

//contador rodillos terminados cincinati 2(total por turno)

double terminadoscc2=getlabelnum(node("/cc2",model()),"terminadoscc2");
settablenum("terminados_por_maquina",espaciador+1,4,terminadoscc2);
setlabelnum(node("/cc2",model()),"terminadoscc2",0);

//contador rodillos terminados hercules 2 (total por turno)

double terminadosh2=getlabelnum(node("/h2",model()),"terminadosh2");
settablenum("terminados_por_maquina",espaciador+1,5,terminadosh2);
setlabelnum(node("/h2",model()),"terminadosh2",0);

//contador rodillos terminados Atomat (total por turno)

double terminadosAtomat=getlabelnum(node("/atomat",model()),"terminadosAtomat");
settablenum("terminados_por_maquina",espaciador+1,6,terminadosAtomat);
setlabelnum(node("/atomat",model()),"terminadosAtomat",0);

//contador rodillos terminados Torno 0(total por turno)

double terminadost0=getlabelnum(node("/t0",model()),"terminadost0");
settablenum("terminados_por_maquina",espaciador+1,7,terminadost0);
setlabelnum(node("/t0",model()),"terminadost0",0);

//contador rodillos terminados Torno 1 (total por turno)

double terminadost1=getlabelnum(node("/t1",model()),"terminadost1");
settablenum("terminados_por_maquina",espaciador+1,8,terminadost1);
setlabelnum(node("/t1",model()),"terminadost1",0);

//contador rodillos terminados Torno 2 (total por turno)

double terminadost2=getlabelnum(node("/t2",model()),"terminadost2");
settablenum("terminados_por_maquina",espaciador+1,9,terminadost2);
setlabelnum(node("/t2",model()),"terminadost2",0);

//contador rodillos terminados torno 3 (total por turno)

double terminadost3=getlabelnum(node("/t3",model()),"terminadost3");
settablenum("terminados_por_maquina",espaciador+1,10,terminadost3);
setlabelnum(node("/t3",model()),"terminadost3",0);

//contador rodillos terminados torno copiador (total por turno)

double terminadostcopiador=getlabelnum(node("/tcopiador",model()),"terminadostcop");
settablenum("terminados_por_maquina",espaciador+1,11,terminadostcopiador);
setlabelnum(node("/tcopiador",model()),"terminadostcop",0);

//contador rodillos terminados Resitron (total por turno)

```

```
double terminadosresitron=getlabelnum(node("/resitron",model()),"terminadosresitron");
settablenum("terminados_por_maquina",espaciador+1,13,terminadosresitron);
setlabelnum(node("/resitron",model()),"terminadosresitron",0);
```

```
//contador rodillos terminados planet (total por turno)
```

```
double terminadosplanet=getlabelnum(node("/planet",model()),"terminadosplanet");
settablenum("terminados_por_maquina",espaciador+1,12,terminadosplanet);
setlabelnum(node("/planet",model()),"terminadosplanet",0);
```

Luego continua con el cálculo del factor de utilización:

```
//calculo factor operacion h1
```

```
double FU_h1=((getlabelnum(node("/h1",model()),"fu"))/480)*100;
settablenum("factor_utilizacion",espaciador+1,1,FU_h1);
setlabelnum(node("/h1",model()),"fu",0);
```

```
//calculo factor operacion farrel
```

```
double FU_farrel=((getlabelnum(node("/farrel",model()),"fu"))/480)*100;
settablenum("factor_utilizacion",espaciador+1,2,FU_farrel);
setlabelnum(node("/farrel",model()),"fu",0);
```

```
//calculo factor operacion cc1
```

```
double FU_cc1=((getlabelnum(node("/cc1",model()),"fu"))/480)*100;
settablenum("factor_utilizacion",espaciador+1,3,FU_cc1);
setlabelnum(node("/cc1",model()),"fu",0);
```

```
//calculo factor operacion cc2
```

```
double FU_cc2=((getlabelnum(node("/cc2",model()),"fu"))/480)*100;
settablenum("factor_utilizacion",espaciador+1,4,FU_cc2);
setlabelnum(node("/cc2",model()),"fu",0);
```

```
//calculo factor utilizacion h2
```

```
double FU_h2=((getlabelnum(node("/h2",model()),"fu"))/480)*100;
settablenum("factor_utilizacion",espaciador+1,5,FU_h2);
setlabelnum(node("/h2",model()),"fu",0);
```

```
//calculo factor utilizacion atomat
```

```
double FU_atomat=((getlabelnum(node("/atomat",model()),"fu"))/480)*100;
settablenum("factor_utilizacion",espaciador+1,6,FU_atomat);
setlabelnum(node("/atomat",model()),"fu",0);
```

```
//calculo factor utilizacion t0
```

```
double FU_t0=((getlabelnum(node("/t0",model()),"fu"))/480)*100;
settablenum("factor_utilizacion",espaciador+1,7,FU_t0);
setlabelnum(node("/t0",model()),"fu",0);
```

```
//calculo factor utilizacion t1
```

```
double FU_t1=((getlabelnum(node("/t1",model()),"fu"))/480)*100;
settablenum("factor_utilizacion",espaciador+1,8,FU_t1);
```

```

setlabelnum(node("/t1",model()),"fu",0);

//calculo factor utilizacion t2

double FU_t2=((getlabelnum(node("/t2",model()),"fu"))/480)*100;
settablenum("factor_utilizacion",espaciador+1,9,FU_t2);
setlabelnum(node("/t2",model()),"fu",0);

//calculo factor utilizacion t3

double FU_t3=((getlabelnum(node("/t3",model()),"fu"))/480)*100;
settablenum("factor_utilizacion",espaciador+1,10,FU_t3);
setlabelnum(node("/t3",model()),"fu",0);

//calculo factor utilizacion tcopiador

double FU_tcopiador=((getlabelnum(node("/tcopiador",model()),"fu"))/480)*100;
settablenum("factor_utilizacion",espaciador+1,11,FU_tcopiador);
setlabelnum(node("/tcopiador",model()),"fu",0);

//calculo factor utilizacion planet

double FU_planet=((getlabelnum(node("/planet",model()),"fu"))/480)*100;
settablenum("factor_utilizacion",espaciador+1,12,FU_planet);
setlabelnum(node("/planet",model()),"fu",0);

//calculo factor utilizacion resitron

double FU_resitron=((getlabelnum(node("/resitron",model()),"fu"))/480)*100;
settablenum("factor_utilizacion",espaciador+1,13,FU_resitron);
setlabelnum(node("/resitron",model()),"fu",0);

```

Los que se encuentran en el Trigger on entry de el processor “controlador central” encargado de la función de conteo y registro de estos datos.

El registro de los tiempos de rectificado por producto se realiza en cada máquina, en el trigger on entry en conjunto con el trigger on process finish, siendo su programación la siguiente:

On entry

```

//tiempo entrada (label en item), para tiempo de proceso

double tt=time();
setlabelnum(item,"tt",tt);

```

On process finish

```

//tiempo salida(tsalh1) y tiempo de proceso(label tph1)
double tt=getlabelnum(item, "tt");
double tsalh1=time();
double tph1=tsalh1-tt;
double espaciador=getlabelnum(current,"espaciador");

```


4.5.6 Grúa puente:

La siguiente programación se encuentra en todas los componentes del modelo de simulación en el cual esta involucrado traslado de productos mediante la grúa puente:

```

fsnode* current = ownerobject(c);
fsnode* item = parnode(1);
//PROSESTART
//The object connected to center port number
//PROSEEND
return tonum(centerobject(current,
//PARAMSTART
1
//PARAMEND
));

//PROSESTART
//.
//PROSEEND
    
```

4.6 Tablas de tiempo.

Estas tablas no necesitan programación previa, y para este modelo tenemos 3:

- **Colaciones:** encargada de realizar las detenciones del taller a la hora de la colación. Su apariencia en el software se muestra en la figura 4.9:

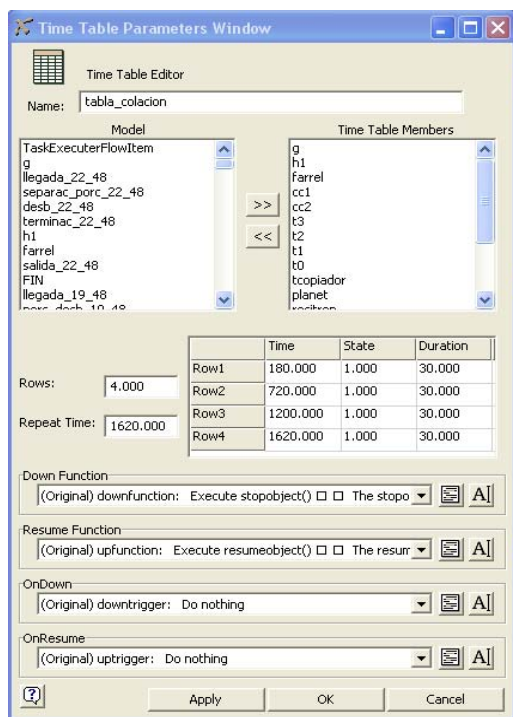


Figura 4.9: Tabla tiempo detención colaciones

- **Cambio de turno:** tabla de tiempo encargada de realizar las detenciones debido a los cambios de turno que se producen en el taller, y su forma se puede ver en la figura 4.10:

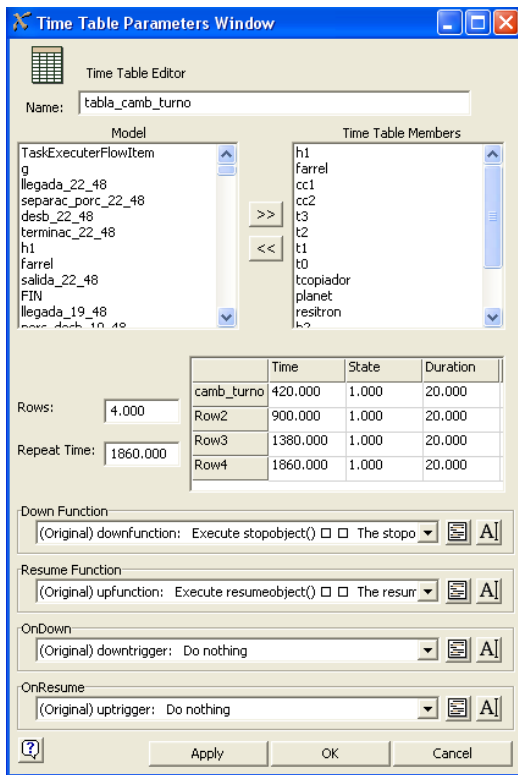


Figura 4.10: Tabla tiempo detención cambio turno.

- **Mantenciones programadas:** asignadas para cada máquina del Taller según calendario fijado por Jefe de Turno para mantenciones programadas necesarias para el correcto funcionamiento de las máquinas del Taller. Su presentación en el software se aprecia en la figura 4.11:

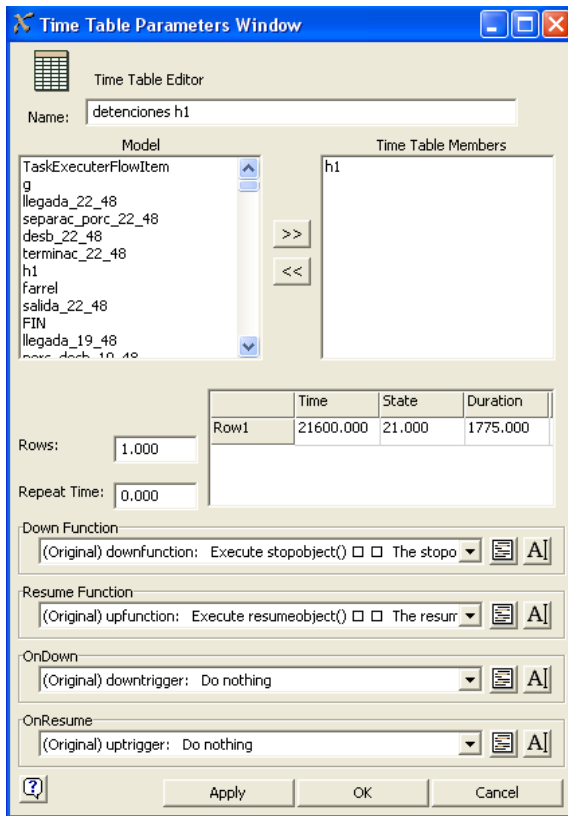


Figura 4.11: Tabla detención programada rectificadora Herkules 1.

4.7 Prioridades dentro del modelo.

Aunque estas prioridades no necesitan programación, fueron de vital importancia a la hora de realizar los trabajos de recuperación de los productos, ya que de esta manera la grúa puente se guía de manera optima, con tal de no dejar un rango amplio de tiempo entre el cambio de producto para alguna maquina especifica, diferenciando las máquinas de mas alta prioridad de las de menor prioridad.

La distribución de prioridades es la siguiente:

- Herkules 1, Farrel, Cincinnati 1, Cincinnati 2: Prioridad 30.
- Tornos 0-3, Torno copiator, Planet, Resitrón: Prioridad 29.
- Zonas de almacenamiento: Prioridad 28.

4.8 Vista conexiones lógicas del modelo.

En el software de simulación Flexsim, las conexiones lógicas, que permitieron que se realicen los movimientos internos dentro del taller de manera correcta, estuvieron representadas como se muestra en la figura 4.12:

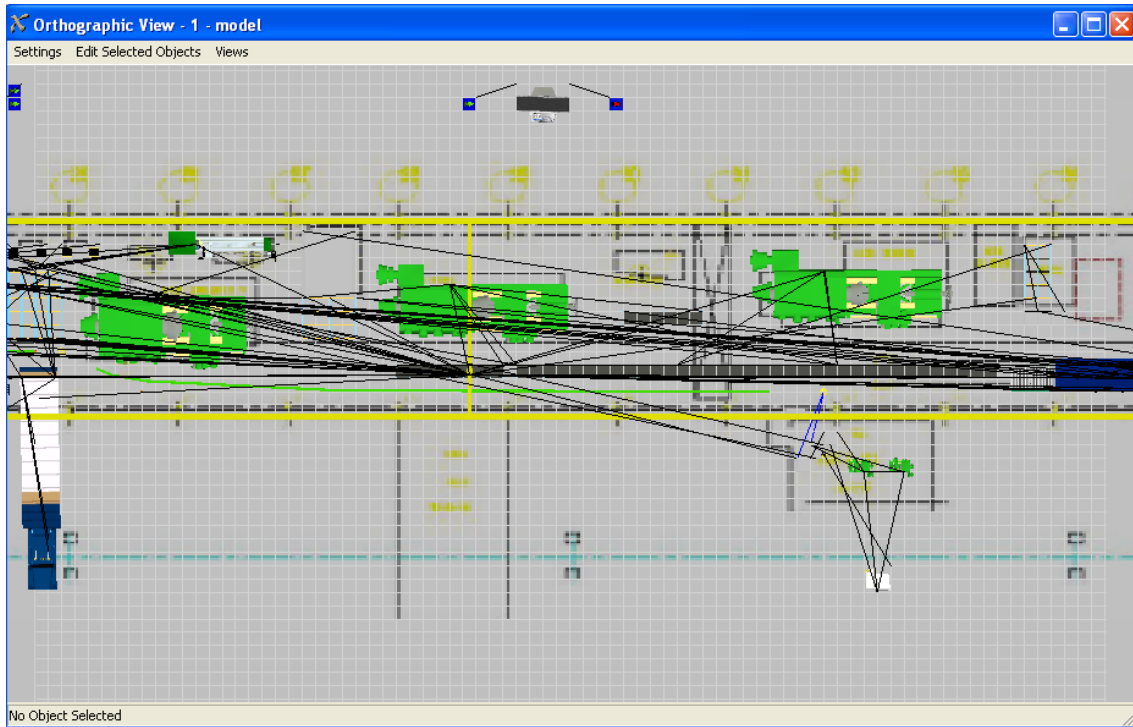


Figura 4.12: Vista conexiones lógicas del modelo de simulación.

4.9 Vistas del modelo.

Como paso final de la construcción del modelo de simulación, se debió adaptar este visualmente a la realidad, para que así la representación del Taller sea completa, como vemos en la figuras 4.12, 4.13 y 4.14:

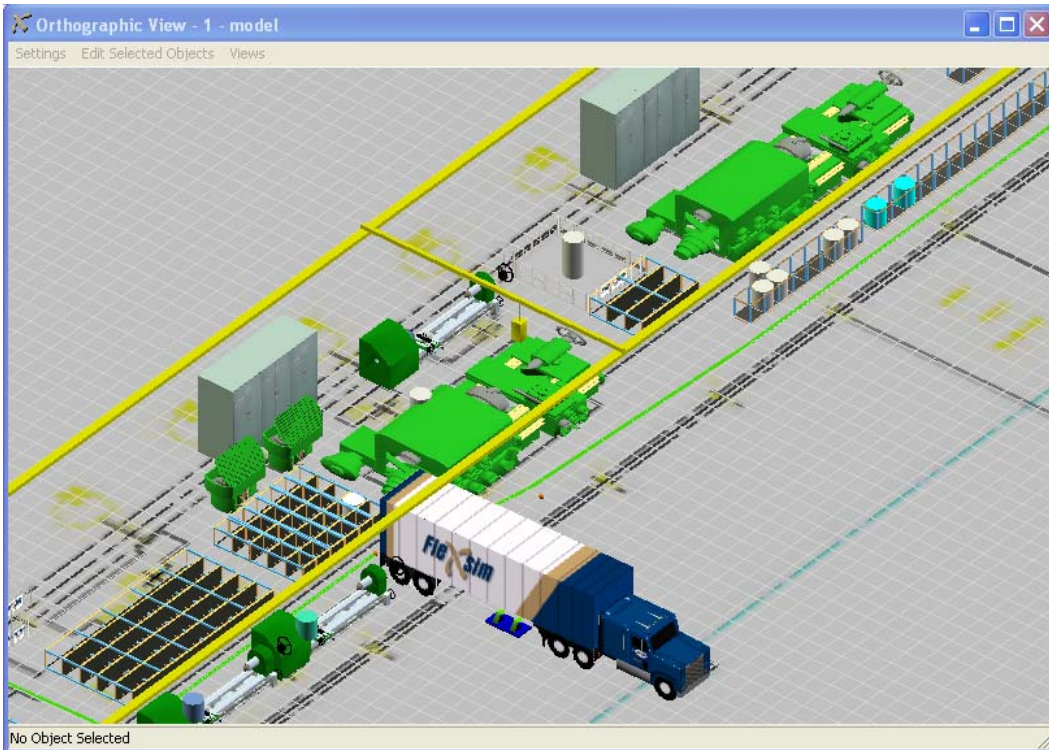


Figura 4.12: Vista 1 del modelo de simulación del Taller de Rodillos.

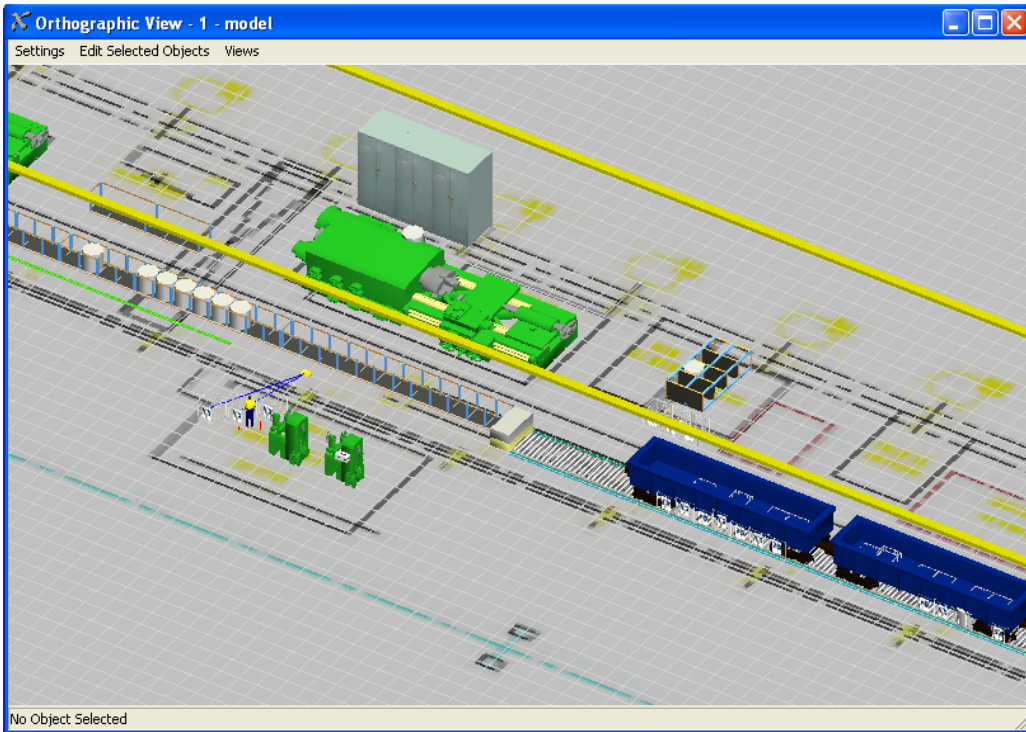


Figura 4.13: Vista 2 del modelo de simulación del Taller de Rodillos.

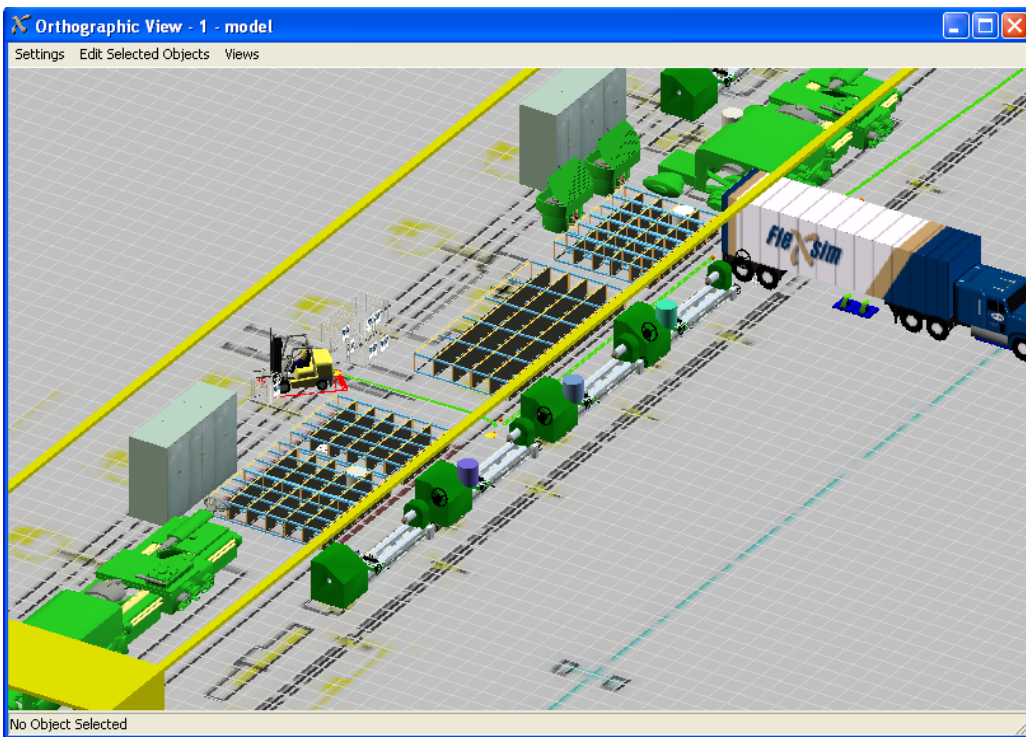


Figura 4.14: Vista 3 del modelo de simulación del Taller de Rodillos.

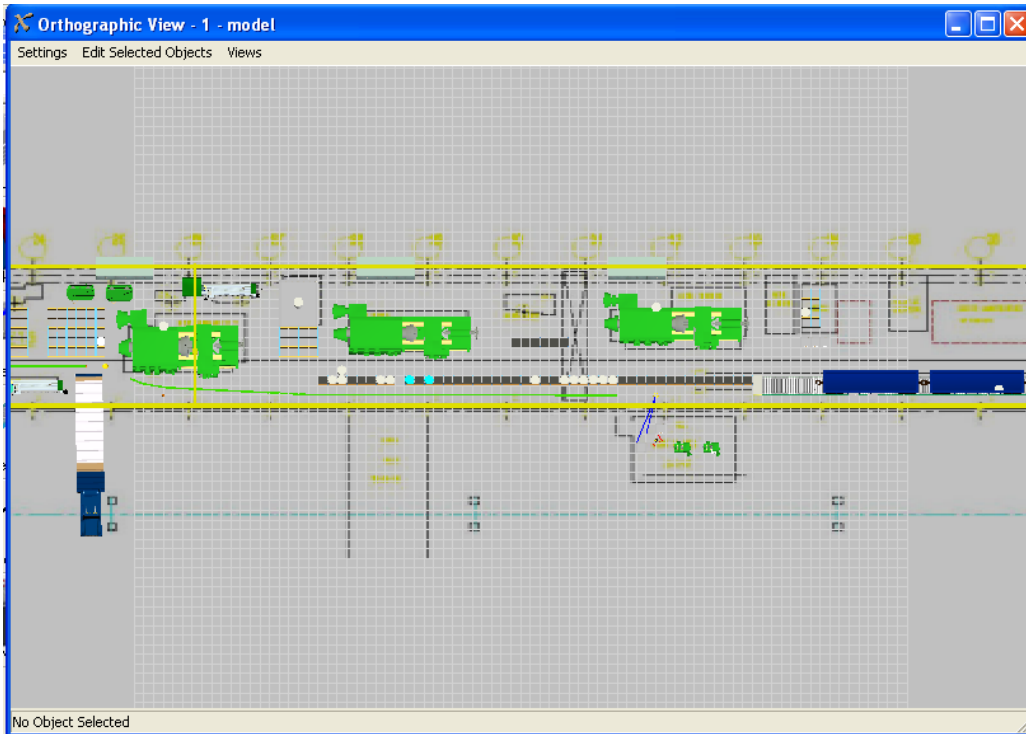


Figura 4.15: Vista 4 del modelo de simulación del Taller de Rodillos.

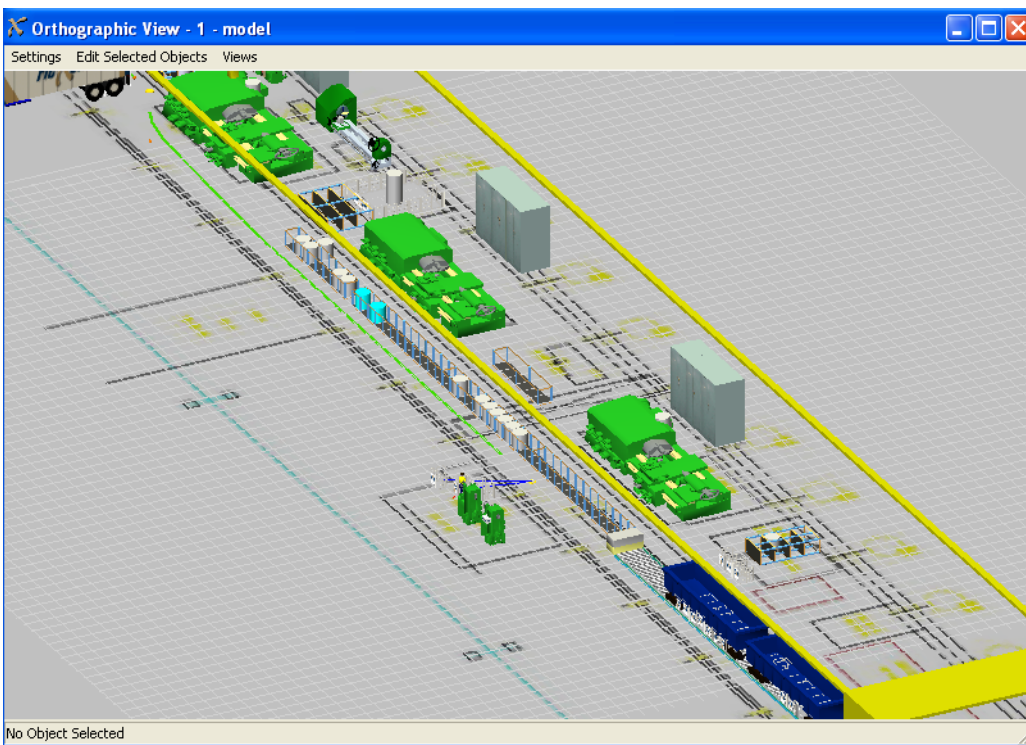


Figura 4.16: Vista 5 del modelo de simulación del Taller de Rodillos.

Capítulo 5

Análisis de datos del modelo

5.1 Análisis de datos de entrada.

Para realizar un análisis del sistema de manera óptima, se utilizó información del periodo Enero del 2004 Agosto del 2004, el cual correspondió al registro histórico que se encontraba en el taller de rodillos, y además se incluyó los datos de un muestreo en terreno que se realizó entre los meses de Noviembre y Diciembre del 2004. En este ultimo muestreo se verificó todas las lógicas de movimiento que se efectúan dentro del Taller.

Una vez obtenidas y ordenadas las muestras, se realizó un análisis para obtener las distribuciones de probabilidad necesarias para modelar el sistema, las cuales se generaron mediante el uso del software de análisis de datos Experfit, el cual tiene la particularidad de entregar los parámetros exactos, requeridos por el software de simulación Flexsim.

Los datos necesarios para poder realizar la simulación del sistema son los siguientes:

- Velocidad Grúa puente.
- Tiempos de rectificado por máquina.
- Tiempos de Setup por máquina.
- Tiempos de colación y cambios de turno.
- Tiempo cambio de rodillos.
- Tiempo de mantenciones programadas.

Las lógicas de movimientos fueron proporcionadas por el Jefe de la Sección Rodillos Sr. Johnson Núñez, y posteriormente fueron corroboradas en terreno con la ayuda de los operarios del Taller.

Las distribuciones de probabilidad calculadas a partir del muestreo se encuentran en el anexo B.

Al analizar resultados se estimó óptimo realizar corridas de 1 mes cada una, dejando fuera la información del primer turno, considerado éste como el periodo de calentamiento del modelo, ya que este es el tiempo en que el taller demora en entrar en régimen.

5.2 Validación del modelo.

Para realizar la validación del modelo se usaron las siguientes variables estadísticas:

- Cantidad de rodillos y anillos recuperados mensualmente.
- Tiempos de rectificado por máquina.

Para validar que los resultados arrojados por el modelo son estadísticamente correctos, se utilizaron intervalos de confianza del 95%.

La cantidad real promedio de rodillos y anillos recuperados mensualmente, fue de 1738 productos, y para esta variable se obtuvo el siguiente intervalo:

[1688< Anillos y rodillos recuperados<1810]

Donde el valor promedio real de anillos y rodillos recuperados contiene dentro del intervalo, por lo que los datos arrojados por el modelo de simulación son estadísticamente correctos.

Para la variable “tiempo de rectificado por producto por máquina”, se obtuvieron los siguientes promedios reales y sus respectivos intervalos de confianza.

➤ *Rectificadora Herkules 1:*

Valor promedio tiempo rectificado 46.75 minutos.

Intervalo de confianza:

[46,12 < Tiempo promedio de rectificado por producto < 47,03]

➤ *Rectificadora Farrel:*

Valor promedio tiempo rectificado 48.75 minutos.

Intervalo de confianza:

[48,7 < Tiempo promedio de rectificado por producto < 50,38]

➤ *Rectificadora Cincinnati 1:*

Valor promedio tiempo rectificado 84,625 minutos.

Intervalo de confianza:

[80,04 < Tiempo promedio de rectificado por producto < 88,22]

➤ *Rectificadora Cincinnati 2:*

Valor promedio tiempo rectificado 84,625 minutos.

Intervalo de confianza:

[83,25 < Tiempo promedio de rectificado por producto < 85,25]

➤ *Rectificadora Herkules 2:*

Valor promedio tiempo rectificado 70,34 minutos.

Intervalo de confianza:

[69,21 < Tiempo promedio de rectificado por producto < 73,38]

➤ *Rectificadora Atomat:*

Valor promedio tiempo rectificado 389 minutos.

Intervalo de confianza:

[375,56 < Tiempo promedio de rectificado por producto < 394,22]

➤ *Torno 0:*

Valor promedio tiempo rectificado 737 minutos.

Intervalo de confianza:

[728,17 < Tiempo promedio de rectificado por producto < 745,29]

➤ *Torno 1:*

Valor promedio tiempo rectificado 1546 minutos.

Intervalo de confianza:

[1530,08 < Tiempo promedio de rectificado por producto < 1573,26]

➤ *Torno 2:*

Valor promedio tiempo rectificado 2511 minutos.

Intervalo de confianza:

[2476,19 < Tiempo promedio de rectificado por producto < 2590,95]

➤ *Torno 3:*

Valor promedio tiempo rectificado 343,25 minutos.

Intervalo de confianza:

[330,40 < Tiempo promedio de rectificado por producto < 378,55]

➤ *Planet:*

Valor promedio tiempo rectificado 416,62 minutos.

Intervalo de confianza:

[414,92 < Tiempo promedio de rectificado por producto < 421,20]

➤ *Resitrón:*

Valor promedio tiempo rectificado 390,5 minutos.

Intervalo de confianza:

[390,45 < Tiempo promedio de rectificado por producto < 429,82]

➤ *Torno copiator:*

Valor promedio tiempo rectificado 332,25 minutos.

Intervalo de confianza:

[325,83 < Tiempo promedio de rectificado por producto < 333,42]

Donde todos los tiempos promedios mensuales reales contuvieron en los intervalos correspondientes, por lo que se puede concluir que el modelo esta debidamente validado.

5.3 Cálculo del número de réplicas.

Se realizaron 5 corridas piloto para obtener el número de replicas necesarias para estar seguro de que los resultados del modelos son confiables.

Con un α de un 5% y una precisión del 10%, se tuvo que el número de replicas necesarias para el sistema es de $n= 3$ replicas.

Para realizar este cálculo se utilizó la siguiente ecuación¹:

$$n = \left(\frac{t_{\alpha/2, n-1} \times S_x}{p \times \bar{X}} \right)^2$$

Donde:

n :Número de replicas del modelo para un nivel de exactitud deseado.

S_x : Desviación estándar muestral.

\bar{X} :Media muestral.

$t_{\alpha/2, n-1}$:Valor crítico asociado a la distribución t- student.

p :Nivel de precisión.

Al obtener este valor de n , se sigue trabajando en base a las 5 corridas piloto.

¹ Banks, Jerry. Carlson, John."Discrete- Event System Simulation" , 1996., 2nd edition, New Jersey The United State of America, Prentice may.

Capítulo 6

Características de los escenarios y análisis de resultados.

6.1 Alternativas de reemplazo y/o modernización.

Para evaluar los diferentes escenarios propuestos por el Jefe del Taller de Rodillos, Sr. Johnson Núñez, este entregó una descripción de las diferentes alternativas de reemplazo y/o modernización para las diferentes rectificadoras que pretenden ser reemplazadas.

Dichas alternativas de reemplazo solo afectaron a 3 rectificadoras existentes (Herkules 1 , Farrel, Cincinnati 2) y a una nueva rectificadora y sus características son las que se muestran en la tabla 6.1:

Herkules 1 modernizada		Farrel modernizada		CC2 modernizada		New Herkules WS 600	
<i>Rodillo</i>	<i>Tiempo Proceso(min.)</i>	<i>Rodillo</i>	<i>Tiempo Proceso(min.)</i>	<i>Rodillo</i>	<i>Tiempo Proceso(min.)</i>	<i>Rodillo</i>	<i>Tiempo Proceso(min.)</i>
22*100	41,5	22*100	39,5	22*100	39,5	22*100	39,5
34*100	43	34*100	41	34*100	41	34*100	41
27*68	31,5	27*68	30	27*68	30	27*68	30
19*48	38	19*48	38	19*48	38	19*48	38
22*48	38	22*48	38	22*48	38	22*48	38
53*48	95	53*48	75	53*48	75	53*48	75
54*68	120	54*68	95	54*68	95	54*68	95

Tabla 6.1 : Tiempos de proceso para modernizaciones y nueva rectificadora.

Donde se encuentran expresados los nuevos tiempos de rectificado para las máquinas mejoradas, los cuales fueron proporcionados por los fabricantes de

éstas. Para este caso tenemos que los tiempos fueron proporcionados por las empresas Herkules y Pomini.

El costo asociado para el reemplazo y/o modernización de las máquinas es el que se muestra en la tabla 6.2:

	Tiempo aproximado	Costo (US\$)
Modernización Herkules 1	3 semanas	750.000
Modernización Farrel	2 meses	1.000.000
Modernización Cincinnati 2	2 meses	750.000
New Herkules WS 600	-----	2.000.000

Tabla 6.2: Costos y tiempos asociados a las modernizaciones y reemplazo de maquinas del Taller

6.1.1 Descripción escenarios.

Basado en las características mencionadas anteriormente, para las alternativas de reemplazo y/o modernización, en conjunto con el Jefe de la Sección Rodillos Sr. Jonson Núñez, se determinaron diferentes combinaciones de reemplazo, para las cuales se definieron los siguientes grupos, presentados en la tabla 6.3.

	Grupo 1		Grupo 2			Grupo 3		
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7	Escenario 8
Modernización	H1	H1, Farrel	Farrel	Farrel, H1	Farrel, H1, CC2		H1	H1, CC2
Nueva Rectificadora						New HWS600	New HWS600	New HWS600

Tabla 6.3: Descripción de grupos de análisis de escenarios.

6.2 Nuevo Laminador de Barras Talcahuano.

En el siguiente punto, se presentan los nuevos requerimientos que deberá soportar el Taller debido a la instalación de un futuro nuevo Laminador de Barras. Sus características son:

Situación actual: El Taller entrega 320 rodillos y anillos rectificados al mes provenientes del LBT. La distribución y destino de los anillos y rodillos usados actualmente en el Taller de Rodillos se muestra en la tabla 6.4:

Destino	Cantidad
<i>Torno 3</i>	12 Anillos
<i>Torno 1- Torno copiadore</i>	16 rodillos
<i>H2</i>	4 Anillos
<i>H2</i>	20 Anillos
Total	52 Unidades

Tabla 6.4: Anillos y rodillos usados actualmente en LBT.

Estas unidades pasan a lo menos 6 veces para cumplir con la entrega actual de 320 unidades mensuales.

Aumento por nuevo LB: Consiste en 240 anillos y rodillos más mensuales entregados en el Taller. La distribución y destino propuesta para el aumento de anillos y rodillos que se tendrá que recuperar en el Taller de Rodillos por la implementación del nuevo LB se muestra en la tabla 6.5:

Destino	Cantidad
<i>Torno 3</i>	16 Anillos
<i>Torno 1- Torno copiadore</i>	20 rodillos
<i>T1</i>	2 Anillos
<i>T1- Planet- Resitrón</i>	2 Anillos
Total	40 Unidades

Tabla 6.5: Anillos y rodillos usados en el nuevo LB.

Estas unidades deben pasar a lo menos 6 veces por el taller para cumplir con la entrega de 240 unidades más.

6.3 Resultados de la simulación.

Como se mencionó en los objetivos del capítulo 1, la simulación del Taller de Rodillos de la CIA. Siderúrgica Huachipato S.A., se realizó para hacer una

evaluación técnica de alternativas de reemplazo y/o modernización de diferentes máquinas presentes en el taller, viendo la capacidad de respuesta del sistema ante diferentes escenarios, incluido también el impacto que tendrá en el Taller la construcción de un nuevo Laminador de Barras.

El parámetro que se utilizó para realizar la evaluación de los escenarios propuestos, fue la cantidad de rodillos rectificadores por máquinas, analizando las razones de las variaciones en este parámetro y viendo de esta manera la mejor alternativa.

El periodo de evaluación, así como para la validación del modelo, fue de 1 mes para cada réplica (5) que se hizo, y se utilizaron valores promedios por mes para el cálculo de los resultados.

6.4 Análisis de sensibilidad situación actual.

Para el análisis de este punto se tomó los datos de las 4 rectificadoras centrales (Herkules 1, Farrel, Cincinnati 1 y Cincinnati 2), a las cuales se les analizó los siguientes parámetros:

- Factor de Utilización (Tiempo Trabajado/ Tiempo disponible)
- Cantidad de rodillos rectificadores.

Se simuló basándose en el supuesto de que las rectificadoras tendrían un funcionamiento del 90% de FU para ver la diferencia de rodillos recuperados bajo esta condición y los resultados fueron los que se muestran en la tabla 6.6:

<i>Rectificadora</i>	Situación actual		Sensibilización		<i>Variación</i>
	<i>FU</i>	<i>Cantidad</i>	<i>FU</i>	<i>Cantidad</i>	
Herkules 1	82%	599	90%	657	58
Farrel	61%	438	90%	646	208
Cincinnati 1	30%	141	90%	423	282
Cincinnati2	75%	291	90%	349	58
				Total	606

Tabla 6.6: Valores promedio FU y cantidad de rodillos rectificadores real v/s sensibilización al 90% FU.

Se considero sólo un 90% de FU, debido a que el 10% restante se consideró como tiempos de setup, colaciones, tiempo de grúa y tiempos de cambio de turno, teniendo en cuenta también que este 90% es para tener valores de referencia si se consigue la excelencia operacional que permita llegar a estas cifras.

La variación es considerable, ya que con las máquinas funcionando al 90% de FU, tenemos una diferencia de 606 rodillos promedio más recuperados en el periodo de 1 mes.

Otro punto importante que se consideró de manera de ver como se comporta el sistema en su situación actual, fue simular la detención de la rectificadora Herkules 1, ya que esta es la única que presta servicio al LPF, por lo que si esta máquina sufre algún desperfecto de carácter grave se detiene todo el laminador por falta de rodillos para éste.

Así, se obtuvo que, en 5 replicas de 1 mes cada una y realizando detenciones aleatorias de esta rectificadora, se dispone en promedio entre **2 a 6** rodillos de la medida 19" x 48" del tipo rugosos, lo que significa que al detener la rectificadora, el LPF sufriría una detención por falta de rodillos en **1 turno** (8 horas).

6.5 Resultados de los escenarios.

Como se mencionó en el capítulo anterior, se debió evaluar 8 escenarios divididos en 3 grupos. Y al realizar las 5 replicas de 1 mes cada una se obtuvo los siguientes resultados para cada grupo. Se muestra para cada escenario su correspondiente descripción, características, luego la distribución interna de rodillos (supuesta) asociada al tipo de cambio que se realice en el escenario correspondiente y unos gráficos comparativos.

6.5.1 Grupo 1:

- a) **Escenario 1:** Modificación de Rectificadora Herkules 1 manteniendo la rectificación de sólo rodillos 22*48 y 19*48 (medidas en pulgadas)
- **Características:** Se modernizó Rectificadora Herkules 1 (Herkules WS 450), bajando los tiempos de proceso de los rodillos a 38 minutos en rodillos de 22*48 y 19*48
 - **Distribución interna de rodillos:**
 - Rodillos 22*48: 16% desbaste(Farrel), 84% terminación (H1).
 - Rodillos 19*48: 45% desbaste(CC1), 55% terminación (H1).
 - Rodillos 54*68: 100% CC2.
 - Rodillos 53*48: 100% CC2.
 - Rodillos 27*68: 33% CC2, 55% Farrel, 12% CC1.
 - Rodillos 34*100: 100% CC2.
 - Rodillos 22*100: 10% Farrel, 90% CC2.

➤ **Resultados:**

Se obtuvo un aumento la cantidad de productos recuperados de un 10,88% para H1 y un 12% para Farrel respecto de la situación actual.

Cincinnati 1, y Cincinnati 2 no presentaron cambios significativos en la cantidad de rodillos recuperados. En el gráfico 6.1 se visualiza estos valores bajo las características del escenario 1 versus la situación actual del Taller, y en la tabla 6.7 se traduce la diferencia porcentual que se generó contrastando el escenario 1 contra la situación actual, y el tiempo de rectificado asociado a dicha diferencia.

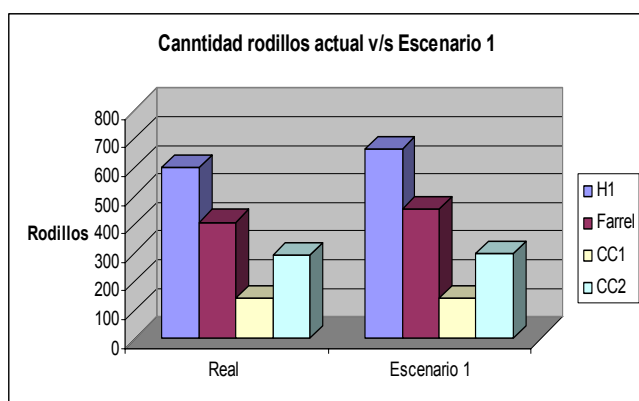


Gráfico 6.1 : Cantidad rodillos real v/s escenario 1.

Rectificadoras	Cantidad	Tiempo (min.)
<i>Herkules 1</i>	65	2470
<i>Farrel</i>	47	2297
<i>Cincinnati 1</i>	2	171
<i>Cincinnati 2</i>	7	593

Tabla 6.7: Cantidad rodillos asociados a var. %.

a) **Escenario 2:** Modernización de rectificadoras Herkules 1 y Farrel.

➤ *Distribución interna de rodillos:*

- Rodillos 22*48: 16% desbaste(Farrel), 84% terminación (H1).
- Rodillos 19*48: 45% desbaste(CC1), 55% terminación (H1).
- Rodillos 54*68: 34% CC2, 33% Farrel, 33% H1.
- Rodillos 53*48: 34% CC2, 34% Farrel, 33% H1.
- Rodillos 27*68: 32% CC2, 31% Farrel, 12% CC1, 25% H1.
- Rodillos 34*100: 60% CC2, 20% Farrel, 20% H1.
- Rodillos 22*100: 60% CC2, 20% Farrel, 20% H1.

➤ **Resultados:**

Se apreció un aumento de la cantidad de rodillos rectificadas en H1 de un 13, 38%, a pesar de haber sido modernizada se tuvo una disminución de productos recuperados en Farrel en un 30% lo que se puede asociar a que la cantidad de rodillos de 53*48 y 54*48 que rectificó fue mayor, como estos rodillos demandan más tiempo de rectificado se obtuvo una menor cantidad de rodillos.

La disminución de rodillos recuperados en CC1, se puede explicar debido a que su carga de trabajo se vio afectada por H1, mientras que CC2 mantuvo su ritmo de trabajo casi normal. Estas diferencias se pueden apreciar en el gráfico 6.2 y en la tabla 6.8, donde en la primera se contrasta la cantidad de rodillos recuperados actualmente versus los resultados obtenidos en el escenario 2, y en la segunda, la cantidad asociada a esta diferencia y a que tipo de diferencia corresponde:

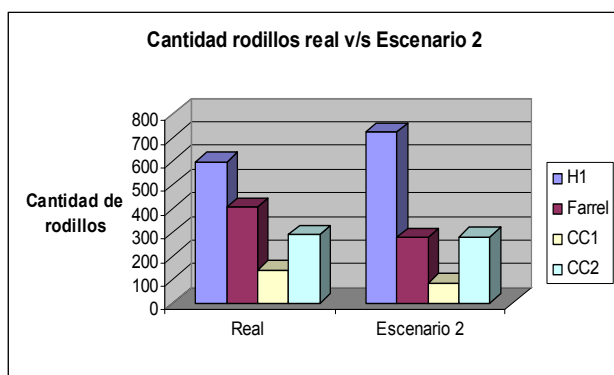


Gráfico 6.2: Cantidad rodillos real v/s escenario

Rectificadoras	Cantidad	Tiempo (min.)
<i>Herkules 1</i>	80 (Aumento)	3072
<i>Farrel</i>	30 (Disminución)	1505
<i>Cincinnati 1</i>	52 (Capac. Extra)	4453
<i>Cincinnati 2</i>	1 (Aumento)	85

Tabla 6.8: Cantidad rodillos asociados a var. %.

c) Contraste escenario 1 v/s escenario 2:

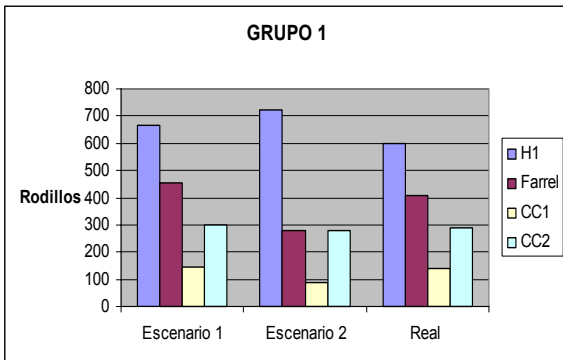


Gráfico 6.3: Comparación cantidad de rodillos por escenario.

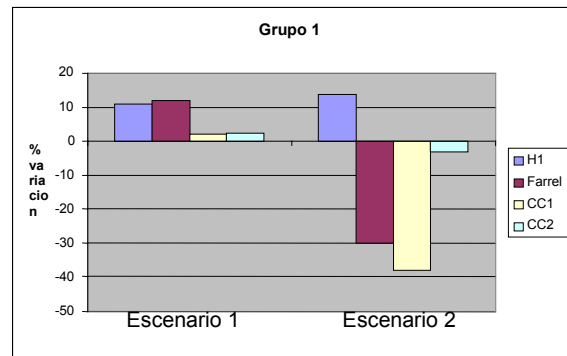


Gráfico 6.4: Variación % niveles producción.

- *Cantidad de rodillos:* Existió mayor aumento de cantidad de rodillos rectificadas en el escenario 1 que en el 2 (Farrel y H1 en escenario 1 y solo H1 en escenario 2), por lo que el escenario mas conveniente es el escenario 1, como se muestra en el gráfico 6.3
- *Porcentajes en niveles de producción:* en el escenario 1 no se registraron disminuciones, solo aumentos de cantidad de rodillos rectificadas, por lo que el escenario mas conveniente es el escenario 1, como se muestra en el gráfico 6.4.

6.5.2 Grupo 2:

a) Escenario 3: Modernizar rectificadora Farrel.

- *Distribución interna de rodillos:*
 - Rodillos 22*48: 16% desbaste(Farrel), 84% terminación (H1).
 - Rodillos 19*48: 45% desbaste(Farrel), 55% terminación (H1).
 - Rodillos 54*68: 60% CC2, 40% Farrel.
 - Rodillos 53*48: 60% CC2, 40% Farrel.
 - Rodillos 27*68: 33% CC2, 55% Farrel, 12% CC1.
 - Rodillos 34*100: 60% CC2, 40% Farrel.
 - Rodillos 22*100: 90% CC2, 10% Farrel.

➤ **Resultados:**

Se apreció un aumento en la cantidad de rodillos recuperados de la rectificadora Farrel, con un 23% mas de productos rectificadas, debido a que la tasa de llegada para rodillos de 19*48 y 27*68 se aumentó.

Además disminuyó la cantidad de rodillos de H1, en un 14,38% ya que los rodillos que eran desbastados en Farrel pasaban a H1 y ahora son terminados en Farrel.

De esta manera la disminución en la cantidad de productos recuperados en H1 esta asociada a una capacidad disponible de esta máquina.

Respecto a la rectificadora CC1, su capacidad extra se explica porque al modernizar Farrel, esta rectificó rodillos que antes pasaban por CC1; y la rectificadora CC2 no se vio mayormente afectada por los cambios realizados y prácticamente mantiene su cantidad de rodillos recuperados.

En el gráfico 6.5 se muestra la cantidad de rodillos recuperados bajos las condiciones del escenario 3 versus la situación actual, y en la tabla 6.9 se aprecia la cantidad de rodillos que esta asociado a la diferencia de rodillos recuperados entre al situación actual y el escenario 3:

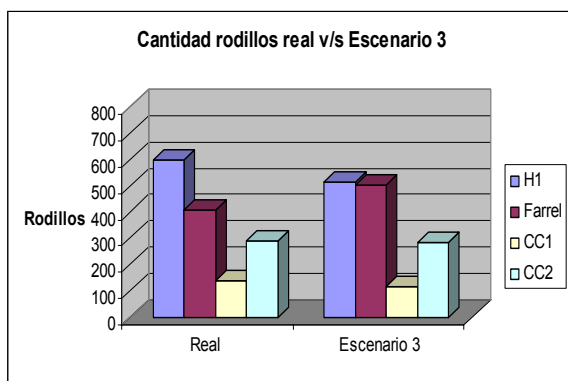


Gráfico 6.5: Cantidad rodillos real v/s escenario

Rectificadoras	Cantidad	Tiempo (min.)
<i>Herkules 1</i>	86 (Capac. Extra)	4021
<i>Farrel</i>	93 (Aumento)	3720
<i>Cincinnati 1</i>	23 (Capac. Extra)	1969
<i>Cincinnati 2</i>	4 (Capac. Extra)	339

Tabla 6.9: Cantidad rodillos asociados a var. %.

b) Escenario 4: Modernización de rectificadoras Herkules 1 y Farrel de la misma manera que en el escenario 2.

➤ Distribución interna de rodillos:

- Rodillos 22*48: 16% desbaste(Farrel), 84% terminación (H1).
- Rodillos 19*48: 45% desbaste(CC1), 55% terminación (H1).
- Rodillos 54*68: 34% CC2, 33% Farrel, 33% H1.
- Rodillos 53*48: 34% CC2, 34% Farrel, 33% H1.
- Rodillos 27*68: 32% CC2, 31% Farrel, 12% CC1, 25% H1.
- Rodillos 34*100: 60% CC2, 20% Farrel, 20% H1.
- Rodillos 22*100: 60% CC2, 20% Farrel, 20% H1.

Los resultados son similares al escenario 2 debido a que tiene la misma distribución de rodillos y la misma modernización de máquinas, con la diferencia que el 30% de disminución de la rectificadora Farrel esta asociada a capacidad extra de rectificado, por la poca llegada de rodillos backup. Herkules 1 tuvo un aumento de un 13% en la cantidad de rodillos recuperados, Cincinnati 2 un aumento de un 0,68% y Cincinnati 1 tiene una capacidad extra para rectificado de 37,14%.

La otra diferencia es que en este caso aumentó de la cantidad de rodillos recuperados de CC2 con respecto al escenario 2.

Podemos observar en el gráfico 6.6, la diferencia de rodillos recuperados entre el escenario 4 y la situación actual del Taller, y en la tabla 6.10 se encuentra expresada la diferencia de rodillos que se presentó en las situaciones contrastadas para este grupo contra las actuales condiciones del taller, con su significado.

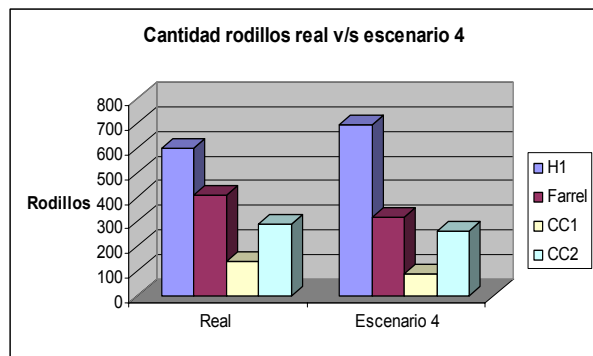


Gráfico 6.6: Cantidad rodillos real v/s escenario

Rectificadoras	Cantidad	Tiempo (min.)
<i>Herkules 1</i>	93 (Aumento)	3571
<i>Farrel</i>	87 (Capac. extra)	3840
<i>Cincinnati 1</i>	51 (Capac. Extra)	4367
<i>Cincinnati 2</i>	27 (Aumento.)	2284

Tabla 6.10: Cantidad rodillos asociados a var. %.

c) Escenario 5: modernización de rectificadoras *Herkules 1*, *Farrel* y *Cincinnati 2*.

➤ *Distribución interna de rodillos:*

- Rodillos 22*48: 33% H1, 34% Farrel, 33% CC2.
- Rodillos 19*48: 33% H1, 34% Farrel, 33% CC2.
- Rodillos 54*68: 34% CC2, 33% Farrel, 33% H1.
- Rodillos 53*48: 34% CC2, 34% Farrel, 33% H1.
- Rodillos 27*68: 32% CC2, 31% Farrel, 12% CC1, 25% H1.
- Rodillos 34*100: 60% CC2, 20% Farrel, 20% H1.
- Rodillos 22*100: 60% CC2, 20% Farrel, 20% H1.

➤ *Resultados:*

Se observó una disminución de la cantidad de rodillos Rectificados por *Herkules 1* y *Farrel* (30% y 5,19% respectivamente) y un aumento en *Cincinnati 2* después de ser modificada en un 54,4%. Esto implicaría que al adaptar la rectificadora CC2 para todos los rodillos del taller, disminuyó el trabajo a *Herkules 1* y *Farrel* pudiendo aumentar la carga de trabajo en estas 2 máquinas.

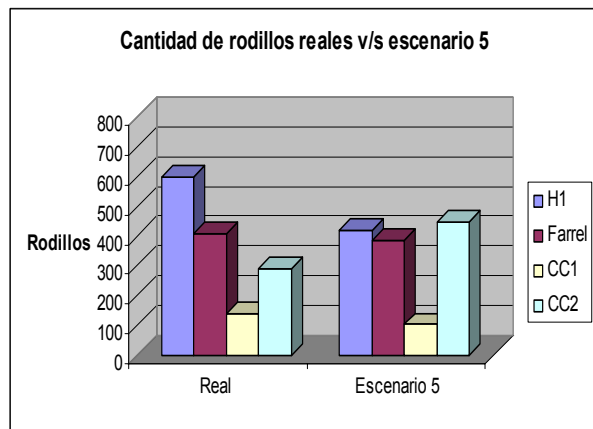


Gráfico 6.7: Cantidad rodillos real v/s escenario 5.

Rectificadoras	Cantidad	Tiempo (min.)
<i>Herkules 1</i>	179 (Capac. Extra)	6873
<i>Farrel</i>	21 (Capac. Extra)	840
<i>Cincinnati 1</i>	38 (Capac.extra)	3253
<i>Cincinnati 2</i>	158 (Aumento)	7928

Tabla 6.11: Cantidad rodillos asociados a var. %.

d) Contraste escenario 3 v/s escenario 4 v/s escenario 6:

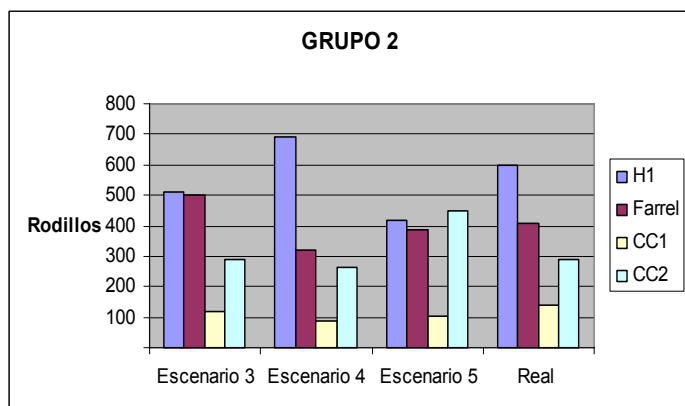


Gráfico 6.8: Comparación cantidad de rodillos por escenario.

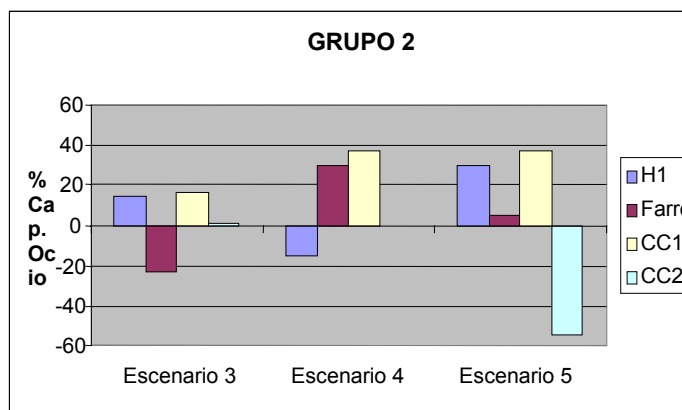


Gráfico 6.9: Niveles capacidad extra máquinas.

- **Cantidad de rodillos:** mirando este aspecto de los escenarios, tenemos que la mejor alternativa es el escenario 3 ya que presentó mayor cantidad de rodillos rectificadas tanto en Herkules 1 como en Farrel respecto de los otros escenarios, lo que significa mejora en cantidad de rodillos rectificadas provenientes del LPF, lo que se muestra en el gráfico 6.8.
- **Niveles de capacidad extra:** en este aspecto el mejor escenario es el número 5 ya que presentó una mayor capacidad extra para Herkules 1 respecto a los otros escenarios, como se puede apreciar en el gráfico 6.9.

6.5.2 Grupo 3:

a) **Escenario 6:** Agregar una rectificadora extra al taller (New Herkules WS 600).

➤ *Distribución interna de rodillos:*

- Rodillos 22*48: 33% H1, 34% Farrel, 34% HWS600.
- Rodillos 19*48: 33% H1, 34% Farrel, 34% HWS600.
- Rodillos 54*68: 50% CC2, 50% HWS600.
- Rodillos 53*48: 50% CC2, 50% HWS600.
- Rodillos 27*68: 25% CC2, 25% Farrel, 25% CC1, 25% HWS600.
- Rodillos 34*100: 50% CC2, 50% HWS600.
- Rodillos 22*100: 33% CC2, 33% Farrel, 34% HWS600.

➤ *Resultados:*

En casi todas las máquinas del taller, se apreció una disminución en la cantidad de rodillos rectificados debido a la presencia de la nueva rectificadora, de esta manera obtuvo que Herkules 1 posee una capacidad ociosa de un 28,7%, Farrel un 9% y Cincinnati 2 de un 35%. Cincinnati 1 se mueve dentro de sus rangos normales de producción. En el gráfico 6.9 se contrasta la diferencia de rodillos recuperados actualmente versus la cantidad de rodillos recuperados en el escenario 6, y la tabla 6.11 la diferencia de rodillos recuperados asociada a esta condiciones.

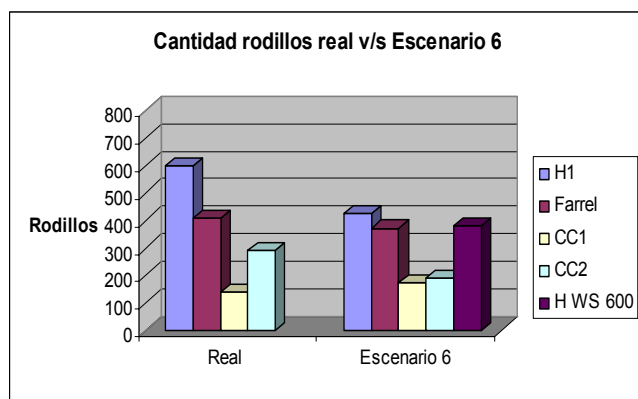


Gráfico 6.9: Cantidad rodillos real v/s escenario 6.

Rectificadoras	Cantidad	Tiempo (min.)
<i>Herkules 1</i>	172 (Capac. Extra)	8041
<i>Farrel</i>	36 (Capac. Extra)	1760
<i>Cincinnati 1</i>	32 (Aumento)	2740
<i>Cincinnati 2</i>	101 (Capac.extra)	8547
<i>HWS600</i>	379 (Aumento)	19298

Tabla 6.11: Cantidad rodillos asociados a var. %.

b) Escenario 7.: Modificación de Herkules 1 e incursión de nueva rectificadora New Herkules WS 600.

➤ Distribución interna de rodillos:

- Rodillos 22*48: 33% H1, 34% Farrel, 34% HWS600.
- Rodillos 19*48: 33% H1, 34% Farrel, 34% HWS600.
- Rodillos 54*68: 33% CC2, 34% HWS600, 33% H1.
- Rodillos 53*48: 33% CC2, 34% HWS600, 33% H1.
- Rodillos 27*68: 20% CC2, 20% Farrel, 20% CC1, 20% H1, 20% HWS600.
- Rodillos 34*100: 33% CC2, 34% HWS600, 33% H1.
- Rodillos 22*100: 33% CC2, 33% Farrel, 34% HWS600.

➤ Resultados:

En este caso, se apreció un incremento en la cantidad de rodillos recuperados de la rectificadora Herkules 1 modificada, donde se tuvo ahora sólo un 8, 681% de rodillos rectificadas.

La nueva rectificadora y la modificación de Herkules 1, redujo la carga de trabajo de la rectificadora Farrel en un 18%, donde el gráfico 6.10 muestra el contraste de rodillos recuperados en el escenario 7 versus la cantidad de rodillos recuperados actualmente en el taller, y la tabla 6.12 muestra diferencia de rodillos asociados a las diferencia porcentuales mencionadas anteriormente.

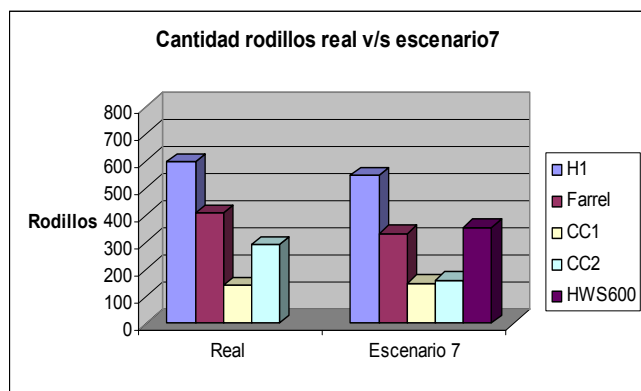


Gráfico 6.10: Cantidad rodillos real v/s escenario 7.

Rectificadoras	Cantidad	Tiempo (min.)
<i>Herkules 1</i>	52 (Capac. Extra)	1997
<i>Farrel</i>	74 (Capac. Extra)	3616
<i>Cincinnati 1</i>	8 (Aumento)	685
<i>Cincinnati 2</i>	131 (Capac.extra)	11089
<i>HWS600</i>	355 (Aumento)	18076

Tabla 6.12: Cantidad rodillos asociados a var. %.

a) Escenario 8: *Características:* Modernización de: Herkules 1, Cincinnati 2 y agregar nueva rectificadora New Herkules WS 600.

➤ *Distribución interna de rodillos:*

- Rodillos 22*48: 25% H1, 25% Farrel, 25% HWS600, 25% CC2.
- Rodillos 19*48: 25% H1, 25% Farrel, 25% HWS600, 25% CC2
- Rodillos 54*68: 33% CC2, 34% HWS600, 33% H1.
- Rodillos 53*48: 33% CC2, 34% HWS600, 33% H1.
- Rodillos 27*68: 20% CC2, 20% Farrel, 20% CC1, 20% H1, 20% HWS600.
- Rodillos 34*100: 33% CC2, 34% HWS600, 33% H1.
- Rodillos 22*100: 33% CC2, 33% Farrel, 34% HWS600.

➤ *Resultados:*

Con la modificación extra de la rectificadora Cincinnati 2, se obtuvo una disminución en la cantidad de rodillos rectificadas de Herkules 1 de 24,6% y un 30% de disminución de la productividad de Farrel, no así con CC2 ya que sufre un aumento de un 13,79%.

Esto se explica ya que la distribución porcentual de rodillos se cambió para así poder tener rodillos que ahora le corresponden hacer a CC2.

Las demás capacidades extras son generadas al tener la nueva rectificadora HWS600 que absorbió trabajo de las otras rectificadoras. En el gráfico 6.11 se aprecia la diferencia entre los rodillos recuperados bajo las condiciones del escenario 8 versus la cantidad de rodillos recuperados bajo la condición actual, y la tabla 6.13 muestra la cantidad de rodillos asociada a la diferencia porcentual mencionada anteriormente.

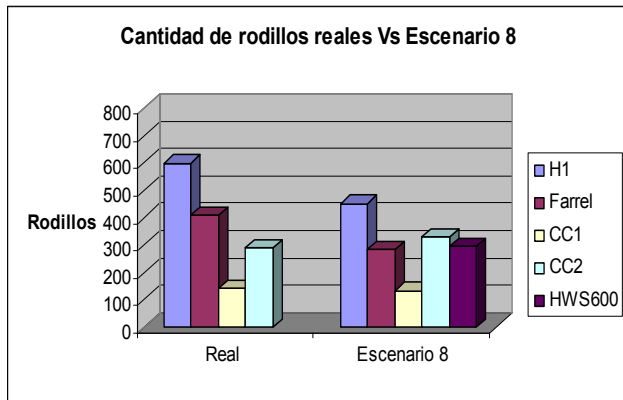


Gráfico 6.11: Cantidad rodillos real v/s escenario

Rectificadoras	Cantidad	Tiempo (min.)
<i>Herkules 1</i>	147 (Capac. Extra)	5644
<i>Farrel</i>	125 (Capac. Extra)	5000
<i>Cincinnati 1</i>	8 (Disminución)	469
<i>Cincinnati 2</i>	36 (Capac.extra)	1806
<i>HWS600</i>	294 (Aumento)	14970

Tabla 6.13: Cantidad rodillos asociados a var. %.

c) Contraste escenario 6 v/s escenario 7 v/s escenario 8.

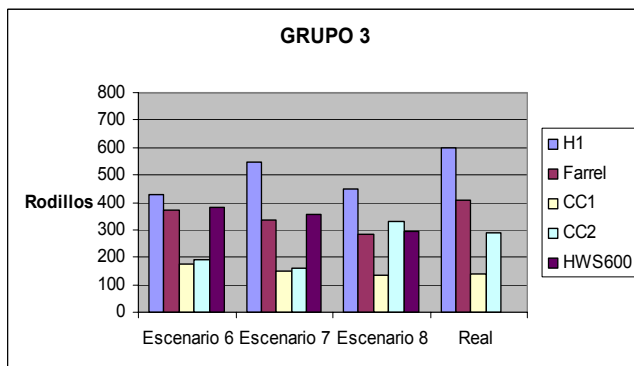


Gráfico 6.12: Comparación cantidad de rodillos por escenario.

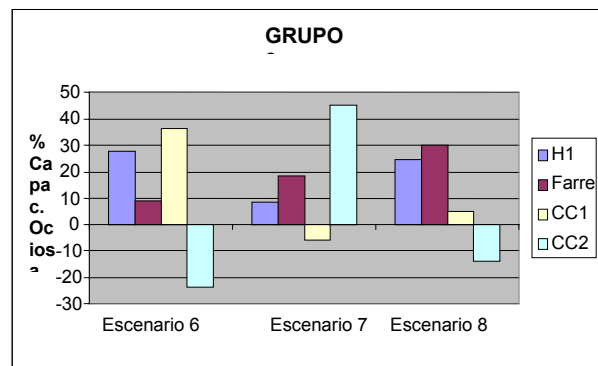


Gráfico 6.13: Niveles capacidad extra máquinas.

- **Cantidad de rodillos:** El escenario más conveniente en este sentido es el escenario 6 ya que presentó el aumento en la cantidad rectificada de rodillos mas nivelado entre todas las rectificadoras, como se aprecia en el gráfico 6.12.
- **Capacidad extra:** bajo este criterio la mejor alternativa se encuentra de igual forma el escenario 6, pero se consideró también el escenario 8 por su mejor capacidad extra tanto en Herkules 1 como en Farrel, como se aprecia en el gráfico 6.13.

Para resumir los resultados expuestos anteriormente se ve en la tabla 6.14 la comparación de la cantidad total de rodillos recuperados por las rectificadoras Herkules 1, Farrel, Cincinnati 1 Cincinnati 2:

	Grupo 1		Grupo 2			Grupo 3		
	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 5	Esc. 6	Esc. 7	Esc. 8
<i>Cantidad de rodillos recuperados</i>	1550	1412	1419	1366	1359	1540	1537	1491

Tabla 6.14: Cantidad total de rodillos recuperados para los diferentes escenarios.

Donde se puede observar que las mejores alternativas por grupo fueron: el escenario 1 (modernización de rectificadora Herkules 1) con 1550 rodillos recuperados para el grupo 1, el escenario 3 (modernización rectificadora Farrel) con 1410 rodillos recuperados para el grupo 2 y el escenario 6 (compra de una nueva rectificadora) con 1540 rodillos recuperados para el grupo 3.

De igual manera se resumen los porcentajes de variación de rectificado con respecto a la situación actual, como se muestra en la tabla 6.15:

	Grupo 1		Grupo 2			Grupo 3		
	Esc.1	Esc. 2	Esc. 3	Esc.4	Esc.5	Esc.6	Esc.7	Esc. 8
<i>H1</i>	10%	13,8%	-14,38%	13,8	-30%	-28,7%	-8,61%	-24,6%
<i>Farrel</i>	12%	-30%	23%	-30%	-5,2%	-9%	-18%	-30%
<i>Cincinnati 1</i>	2.14%	-38,5%	-16,42%	-37,14%	-37,14%	23,57%	5,71%	-5%
<i>Cincinnati 2</i>	2.51%	-3.01%	-1.03%	-0,68%	54,4%	-35%	-45,17%	13,79%

Tabla 6.15: Porcentajes de variación en producción de rectificadoras respecto a la situación actual.

Para el grupo 1 el mejor escenario es el 1 (modernización de Herkules 1) ya que presenta variaciones porcentuales positivas con respecto al escenario 2, ya que en este escenario los valores negativos representan una disminución porcentual en productos rectificadas.

En cambio para los otros 2 grupos combinamos el aumento de producción con capacidad disponible (valores negativos) que se genera con las modificaciones, es por esto que el mejor escenario para el grupo 2 es el escenario 3 (modernización de rectificadora Farrel), por la capacidad disponible de un 14,38% que se genera en Herkules 1 y un aumento en Farrel de un 23% en su producción.

Y para el grupo 3 la mejor opción es el escenario 6 (compra de nueva rectificadora) debido a que se genera el mayor capacidad extra en la rectificadora Herkules 1 la cual es crítica, ya que es la única que presta servicios al LPF.

Como último escenario y final se evaluó el impacto en el taller de la puesta en marcha de un nuevo Laminador de Barras, cuyas características de aumento fueron descritas en el capítulo 6.

Las máquinas afectadas con este aumento son: Torno 3, Torno 1 y Torno Copiador, y sus aumentos porcentuales son los mostrados en la tabla 6.16:

Máquina	Aumento (%)
<i>Torno 3</i>	240%
<i>Torno 1</i>	568 %
<i>Torno copiador</i>	800 %

Tabla 6.16: Aumento porcentual por nuevo LB

Debido que los porcentajes de aumento son muy altos, se forzó el sistema actual al máximo con tasas de llegada de los productos de las máquinas involucradas en el aumento, con tasas de llegadas cada 100 y 30 minutos obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 6.17:

Máquina	Máximo Producción	Producción con aumento	Diferencia Producción
<i>T3</i>	100 Anillos	136 Anillos	36 Anillos
<i>T1</i>	30 Rodillos	167 Rodillos	137 Rodillos
<i>T Copiador</i>	100 Rodillos	136 Rodillos	36 Rodillos

Tabla 6.17: Resultados simulación máxima producción por maquina y diferencia nuevo

Con esto podemos comprobar, que la capacidad del taller al instalarse el nuevo laminador, se vio sobrepasada requiriendo la instalación de un nuevo torno CNC. Esta capacidad sobrepasada se aprecia claramente en el gráfico 6.14:

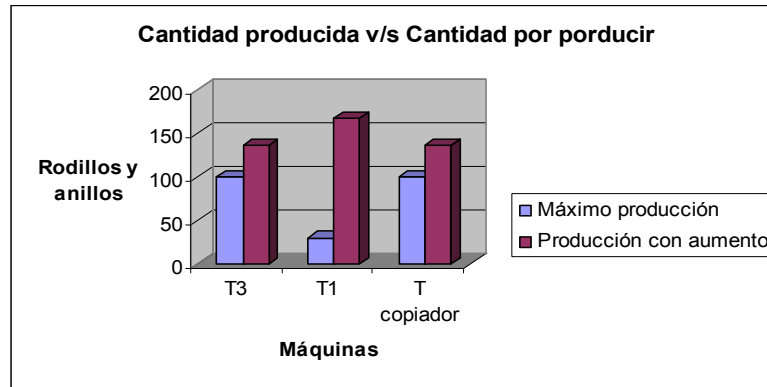


Gráfico 6.14: Cantidad máxima de rodillos y anillos rectificadas v/s nuevo

Las razones por las cuales se forzó el sistema al máximo fue porque actualmente el Torno 3, Torno 1 y Torno copiadador no funcionan al 100% de su capacidad por razones como: asignación de un operario a un trabajo mas crítico en otra parte del Taller o simplemente la poca llegada de productos a recuperar comparada con el aumento, por lo que se comprobó si a toda su capacidad el Taller soportaba la nueva tasa de llegada que se produciría con la puesta en marcha del nuevo Laminador de Barras.

El costo asociado a la adquisición de un nuevo torno CNC es entre US\$ 270.000 y US\$ 800.000, el cual aún está en estudio.

Capítulo 7

Evaluación económica.

El Taller de Rodillos, está definido como una unidad funcional crítica, debido a que presta servicios a los laminadores que componen la compañía Siderúrgica Huachipato, donde los productos que salen de éste, no son para la venta, por lo que al momento de efectuar una inversión en maquinaria nueva y/o modernización de equipos, el análisis de la recuperación de dicha inversión se torna complicada, en el sentido en que no se perciben ganancias inmediatas con el trabajo que se realiza dentro del Taller, sino que afecta la producción de las unidades a las cuales presta servicio, de donde si se obtienen ganancias de la venta de productos finales, siendo esta la razón por la cual no se pueda hacer una evaluación económica tradicional.

Es por esto que para la dicha evaluación utilizaremos el criterio del Thruput, que corresponde a la cantidad de dinero que la empresa deja de ganar al detener una de sus unidades cuello de botella.

La traducción más aceptable es "generación de dinero" y se define como la velocidad a la cual el sistema genera dinero a través de las ventas. El thruput es parte fundamental de la teoría de las restricciones (TOC), una propuesta de Eliyahu M. Goldratt, que se basa en el principio obvio, que a veces se olvida, que afirma que la meta de toda compañía, es ganar más dinero ahora y en el futuro.¹

Para este análisis, el cuello de botella se ubicó en el Laminador Planos en Frío, debido a que en el taller solo se encuentra una rectificadora que presta servicios a dicha unidad (Herkules 1), y su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

¹Departamento Ingeniería Industrial CSH. S.A. [consulta: 25 noviembre 2005]

$$T = (\text{Precio} - \text{Costo Variable}) * \text{Productividad.}$$

Donde T = Thruput.

Ya que el LPF es la unidad mas afectada por una posible detención mayor a 1 turno, se calculó el margen de contribución mediante la diferencia del precio y costos variables estimados para el año 2006. De aquí obtenemos los siguientes resultados, como se muestra en la tabla 7.1:

	Margen de contribución (US\$/ton)	Productividad de la línea más lenta (ton/turno)	T (US\$/turno)	
Laminador Frío (temple)	455	130	59.177	
Hojalata	534	100	53.425	
Zincalum	628	100	62.770	
		Total	175.372	US\$/turno

Tabla 7.1: Cálculo de Thruput para LPF.

Obteniendo un T= 175.375 US\$/turno

Es decir que la empresa deja de ganar US\$ 175.375, si el LPF deja de operar por 1 turno.

Si la máquina falla en este instante, para pagar la nueva rectificadora y/o una modernización de la rectificadora Herkules 1, se tiene la siguiente configuración como se muestra la tabla 7.2:

	Tiempo de detención (turnos)	T (US\$)
Modernización	4	750.000
Nueva rectificadora	11	2.000.000

Tabla 7.2: Cálculo de Thruput para falla inminente de Herkules 1.

Donde a los 4 turnos de estar detenida la rectificadora se obtienen perdidas en el LFP de US\$750.000 que justifica una modernización de H1, y en 11 turnos justifica la compra de una nueva rectificadora (perdida en LFP de US\$2.000.000).

Capítulo 8

Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones.

- La cantidad de rodillos recuperados actualmente en el taller es de aproximadamente 1738 rodillos promedio mensual para todas las máquinas que se encuentran en el Taller, y según el análisis de sensibilidad realizado a las rectificadoras que trabajan rodillos del LPF y LPC, se podrían recuperar 606 rodillos más mensuales si se logra la excelencia operacional que permita operar estas rectificadoras (Herkules 1, Farrel, Cincinnati 1 y Cincinnati 2) con un factor de utilización del 90%.

Para los diferentes grupos de escenarios de las diferentes alternativas de reemplazo y/o modernizaciones obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Grupo 1: la opción de reemplazo mas conveniente es el escenario 1, por los porcentajes en la cantidad de rodillos recuperados superiores al escenario 2, donde se observó una baja en dicha cantidad. La diferencia entre las cantidades respecto al valor real son para el escenario 1 de 65 rodillos para Herkules 1 y 47 rodillos para Farrel, en cambio en el escenario 2 se obtuvo 80 rodillos para Herkules 1 y para Farrel una disminución de 30 rodillos.
- Grupo 2: la opción de reemplazo más conveniente es el escenario 3 ya que al modernizar sólo la rectificadora Farrel, se obtuvo mayores porcentajes de recuperación de rodillos para Herkules y Farrel (513 y 501 rodillos recuperados), pero si hablamos de capacidad extra de rectificado conviene el escenario 5, ya que presentó niveles mayores para la rectificadora H1 (179 rodillos de capacidad extra).

- Grupo 3: la opción de reemplazo correspondiente aquí, está entre el escenario 6 y el escenario 8; el primero debido a que al instalar la nueva rectificadora, automáticamente se presentaron capacidades disponibles de rectificado para las otras máquinas del Taller (172 rodillos para Herkules 1, 36 rodillos para Farrel y 101 rodillos para Cincinnati 2 de capacidad extra), pero no tan altas como en el reemplazo correspondiente al escenario 8, para Farrel y H1 en conjunto (147 rodillos para Herkules 1 y 125 rodillos para Farrel de capacidad extra).

- Combinando los grupos, el mejor escenario a seleccionar, y considerando la cantidad de modernizaciones y/o reemplazos, existen 3 alternativas: el escenario 1 debido a las mejoras respecto a la cantidad de rodillos recuperados que presentó, el escenario 3 debido a la mejor factibilidad técnica de instalación de la máquina, ya que como no es una máquina crítica es menos perjudicial su detención, junto con buenos niveles de producción, y el escenario 6 debido a la mayor factibilidad técnica de realizar la instalación sin presentar problemas de suministros de rodillos y el aumento en la cantidad de rodillos recuperados que presenta.

- Para responder a como influyen los nuevos requerimientos de los clientes en el Taller, se analizó el aumento de la tasa de llegada de anillos y rodillos debido a la puesta en marcha de un nuevo laminador de barras, y bajo estas condiciones, el taller se ve sobrepasado en su capacidad productiva; en el Torno 3 se ve sobrepasado en 365 anillos, en el torno 1 en 137 rodillos y en el Torno copiadore en 36 rodillos, por lo que se recomienda la adquisición de un torno CNC para poder cumplir con los requerimientos de los clientes de manera optima.

8.2 Recomendaciones.

- Para no detener el suministro de rodillos a los laminadores, se sugiere realizar las modernizaciones por etapas, forma ya conocida por los operarios del Taller, de manera de administrar el tiempo de modernización con el tiempo necesario para recuperar productos y no afectar el funcionamiento de los laminadores.

Capítulo 9

Bibliografía

- Law, Averill M, y Kelton, W. David. 2000. Nature of Simulation. En: Simulation modeling and analysis. 3rd ed. The United State of America. McGraw-Hill. pp. 10-13.
- Sheldon M.Ross. 1999. Simulación. Department of Industrial Engineering and Operations Research 2nd edition. University of California, Berkeley, California, E.E.U.U. Prentice Hall.
- Montgomery D., Ruger G. 1996. “Probabilidad y estadística aplicadas a la Ingeniería”, 1^a ed.. México. McGraw-Hill.
- Jennifer Oyarzún A. (1996), Modelamiento y Simulación de Sistemas, Universidad de Bio Bio, Concepción, Chile.
- Marín, Eduardo A., “Mejoramiento en la producción mediante la utilización de simulación y diseño experimental en línea delgada Aserradero Bucalemu, CMPC maderas”, Tesis para la obtención de título de Ingeniero Civil Industrial, Universidad del Bío-Bío, Departamento Ingeniería Industrial, 2003.
- Internet Foro Flexsim, [en línea], <<http://users.flexsim.com/users>>, [consulta: diciembre 2004, febrero, abril 2005].
- CAP S.A. [en línea] < http://www.cap.cl/esp_grupocap/propiedad.htm > [consulta 20 Octubre 2005].
- Infoacero. CAP S.A. [en línea] <<http://www.infoacero.cl/procesos/siderur.htm>> [consulta: 30 Octubre 2005].
- Compañía Siderurgica Huachipato S.A. [en línea] <<http://www.huachipato.cl/intranet.html>> [consulta: 20 Octubre 2005].

Anexos

ANEXO A

Clasificación de Labels (identificadores) y sus significados.

➤ *Rodillos Laminador Planos en Frío.*

Rodillo	Label	Nº	Significado
---------	-------	----	-------------

22"x48"	tipo	1	Rodillo 22"x48" sin rectificar
22"x48"	tipo	2	Rodillo 22"x48" para desbaste
22"x48"	tipo	3	Rodillo 22"x48" desbastado
22"x48"	tipo	4	Rodillo 22"x48" rectificado

19"x48"	tipo	5	Rodillo 19"x48" sin rectificar
19"x48"	tipo	6	Rodillo 19"x48" para desbaste
19"x48"	tipo	7	Rodillo 19"x48" desbastado
19"x48"	tipo	8	Rodillo 19"x48" rectificado

53"x48"	tipo	9	Rodillo 53"x48" sin rectificar
53"x48"	tipo	10	Rodillo 53"x48" rectificado

➤ *Rodillos Laminador Planos en Caliente.*

Rodillo	Label	Nº	Significado
---------	-------	----	-------------

27"x68"	tipo	11	Rodillo 27"x68" sin rectificar
27"x68"	tipo	12	Rodillo 27"x68" % sin rectificar hacia Farrel
27"x68"	tipo	13	Rodillo 27"x68" % sin rectificar hacia Cincinnati 1
27"x68"	tipo	14	Rodillo 27"x68" % sin rectificar hacia Cincinnati 2
27"x68"	tipo	15	Rodillo 27"x68" rectificado

22"x100"	tipo	16	Rodillo 22"x100" sin rectificar
22"x100"	tipo	17	Rodillo 22"x100" % sin rectificar hacia Farrel

22"x100"	tipo	18	Rodillo 22"x100" % sin rectificar Cincinnati 2
22"x100"	tipo	19	Rodillo 22"x100" rectificado

54"x68"	tipo	20	Rodillo 54"x68" sin rectificar
54"x68"	tipo	21	Rodillo 54"x68" rectificado

34"x100"	tipo	22	Rodillo 34"x100" sin rectificar
34"x100"	tipo	23	Rodillo 34"x100" rectificado

➤ *Rodillos Laminador de Barras Talcahuano.*

Rodillo	Label	Nº	Significado
---------	-------	----	-------------

14"x27"	tipo	24	Rodillo 14"x27" sin rectificar
14"x27"	tipo	25	Rodillo 14"x27" rectificado

12"x17"	tipo	26	Rodillo 12"x17" sin rectificar
12"x17"	tipo	27	Rodillo 12"x17" rectificado

14"x22"	tipo	28	Rodillo 14"x22" sin rectificar
14"x22"	tipo	29	Rodillo 14"x22" rectificado

➤ *Rodillos Laminador de Barras Rengo.*

Rodillo	Label	Nº	Significado
---------	-------	----	-------------

250"x400"	tipo	30	Rodillo 250"x400" sin rectificar
250"x400"	tipo	31	Rodillo 250"x400" rectificado

320"x750"	tipo	32	Rodillo 320"x750" sin rectificar
320"x750"	tipo	33	Rodillo 320"x750" rectificado

350"x750"	tipo	54	Rodillo 350"x750" sin rectificar
-----------	------	----	----------------------------------

350"x750"	tipo	55	Rodillo 350"x750" rectificado
-----------	------	----	-------------------------------

500"x1500"	tipo	56	Rodillo 500"x1500" sin rectificar
500"x1500"	tipo	57	Rodillo 500"x1500" rectificado

➤ *Anillos Laminador de Barras Talcahuano a tornos.*

Anillo	Label	Nº	Significado
--------	-------	----	-------------

480"x215"	tipo	34	Anillo 480"x215" sin rectificar
480"x215"	tipo	35	Anillo 480"x215" rectificado

650"x300"	tipo	36	Anillo 650"x300" sin rectificar
650"x300"	tipo	37	Anillo 650"x300" rectificado

➤ *Anillos Laminador de Barras Talcahuano a Laboratorio.*

Anillo	Label	Nº	Significado
--------	-------	----	-------------

a 5	tipo	38	Anillo tipo a sin rectificar
a 5	tipo	39	Anillo tipo a rectificado

a 6	tipo	40	Anillo tipo a 6 sin rectificar
a 6	tipo	41	Anillo tipo a 6 sin rectificar hacia atomat
a 6	tipo	42	Anillo tipo a 6 sin rectificar hacia resitron
a 6	tipo	43	Anillo tipo a 6 rectificado

b	tipo	44	Anillo tipo b sin rectificar
b	tipo	45	Anillo tipo b rectificado

b 8 10	tipo	46	Anillo tipo b 8 10 sin rectificar
b 8 10	tipo	47	Anillo tipo a b 8 10 sin rectificar hacia atomat
b 8 10	tipo	48	Anillo tipo a b 8 10 sin rectificar hacia resitron

<i>b 8 10</i>	tipo	49	Anillo tipo b 8 10 rectificado
<i>c d</i>	tipo	50	Anillo tipo c d sin rectificar
<i>c d</i>	tipo	51	Anillo tipo c d rectificado
<i>e n</i>	tipo	52	Anillo tipo e n sin rectificar
<i>e n</i>	tipo	53	Anillo tipo e n rectificado

ANEXO B

Listado de distribuciones usadas en el modelo.

➤ **Tasas de llegadas**

Tipo rodillo	Distribución	Location	Scale	Shape
22" x 48"	Weibull	0	353.554893	2.487757
19" x 48"	Loglogistic	179.561717	325.126607	2.066231
27" x 68"	Loglaplace	58.045802	371.920591	2.068133
53" x 48"	Random Walk	0	0.000508	0.000144
22" x 100"	Loglogistic	0	1214.995666	2.580944

Tipo rodillo	Distribución	Mínimo	Máximo	Shape 1	Shape 2
54" x 68"	Beta	55.19004	33052.045532	0.728417	2.550599

Tipo rodillo	Distribución	Location	Scale	Shape 1	Shape 2
34" x 100"	Johnson Unbounded	9812.128446	260.688856	-0.031288	0.374915

Tipo rodillo	Distribución	Location	Scale	Shape
14" x 27"	Gamma	1101.176471	15000.019557	0.604568

Tipo rodillo	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
12" x 17"	Triangular	1440	11520	30240
14" x 22"	Triangular	1440	4320	31680

Tipo anillo	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
650" x 300"	Triangular	3000	5000	8000
480" x 215"	Triangular	1440	3000	5000
a_5	Triangular	1440	10000	21600
a_6	Triangular	1440	3000	5000
b	Triangular	1440	8000	20160
b_8_10	Triangular	1440	19872	57600
c_d	Triangular	1440	8000	17280
e_n	Triangular	1440	91210	34560

Tipo rodillo	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
500" x 1500"	Triangular	7200	23904	43200
250" x 400"	Triangular	600	1000	1440
350" x 750"	Triangular	600	1200	2000
320" x 750"	Triangular	480	960	1440

➤ **Máquinas.**

1) Herkules 1.

	Distribución	Locación	Scale	Shape
Tiempo de proceso	Loglplace	0	23	5.879948

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
Tiempo de setup	Triangular	1	4	48

2) Farrel.

	Distribución	Locación	Scale	Shape
Tiempo de proceso	Pearson type V	0	140.471298	7.413213

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
Tiempo de setup	Triangular	1	3	63

3) Cincinnati 1

	Distribución	Locación	Scale	Shape
Tiempo de proceso	Weibull	0	36.798619	2.354961

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
Tiempo de setup	Triangular	1	2	50

4) Cincinnati 2

	Distribución	Locación	Scale	Shape
<i>Tiempo de proceso</i>	Lognormal	35.971831	0.834512	0.150455

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de setup</i>	Triangular	1	4	105

5) Torno 3

	Distribución	Locación	Scale	Shape
<i>Tiempo de proceso</i>	Pearson type V	0	676.196755	3.053384

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de setup</i>	Triangular	1	3	12

6) Torno 2

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de proceso</i>	Triangular	2000	2100	2600

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de setup</i>	Triangular	1	4	20

7) Torno 1

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de proceso</i>	Triangular	1000	1530	1610

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de setup</i>	Triangular	1	4	18

8) Torno 0

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de proceso</i>	Triangular	480	700	790

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de setup</i>	Triangular	1	4	24

9) Torno Copiador.

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de proceso</i>	Triangular	120	312	450

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de setup</i>	Triangular	1	4	15

10) Planet.

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de proceso</i>	Triangular	320	370	430

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de setup</i>	Triangular	1	4	8

11) Resitrón.

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de proceso</i>	Triangular	290	300	480

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de setup</i>	Triangular	1	4	7

12) Herkules 2.

	Distribución	Location	Scale	Shape 1	Shape 2
<i>Tiempo de proceso</i>	Johnson Unbounded	39.912283	19.537772	-0.967551	1.236935

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de setup</i>	Triangular	1	3	5

13) Atomat.

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de proceso</i>	Triangular	120	430	480

	Distribución	Mínimo	Moda	Máximo
<i>Tiempo de setup</i>	Triangular	1	4	6

Con el software Experfit se corrobora que las curvas proporcionadas sean correctas mediante diferentes herramientas que este posee. A continuación se muestra como ejemplo el análisis de la tasa de llegada de los rodillos de 27” x 68”:

Después de realizado el muestreo se introducen los datos al software y se comprueba que no estén correlacionados mediante una prueba de independencia como se muestra en la Gráfico 1.

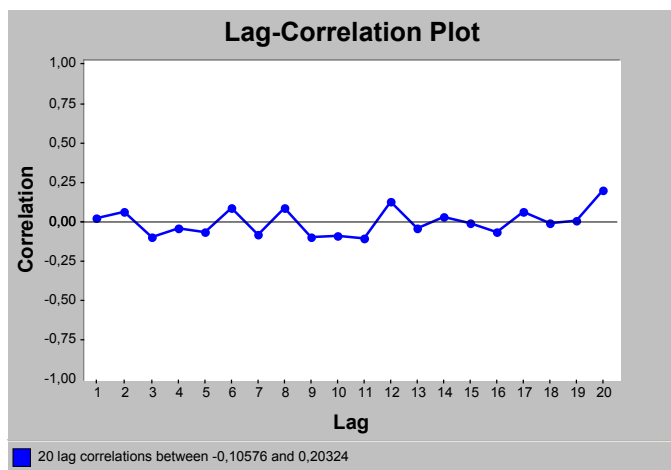


Gráfico 1: datos no correlacionados

Posteriormente se aplican tests tanto gráficos como estadísticos, para realizar el ajuste de los datos.

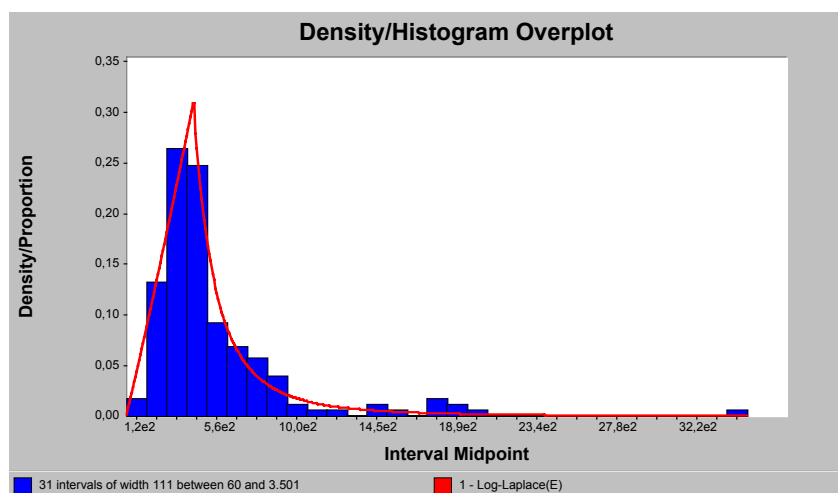


Gráfico 2: Función de densidad o Histograma

Donde podemos ver que la función de densidad (línea roja) contiene dentro de la mayoría del Histograma.

En el siguiente gráfico se muestra la diferencia entre el ajuste y los datos muestrales, donde las líneas deben separarse lo menos posible el valor real de la distribución que es la línea azul, por lo que el ajuste es aceptado para esta muestra.

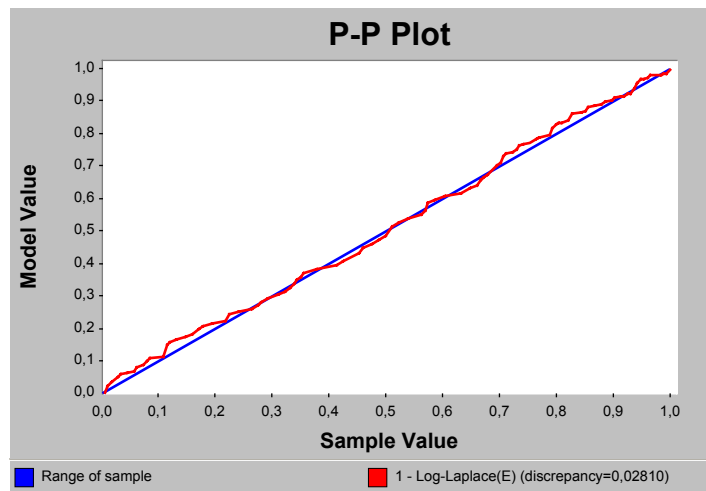


Gráfico 3: Gráfico P-Plot

Experfit posee diferentes test estadísticos para comprobar la validez de los datos ingresados y entre ellos encontramos por ejemplo los test de Anderson Darling y Kolgomorov Smirnov en los cuales como se puede ver en las figuras 1 y 2, que no rechazó el ajuste.

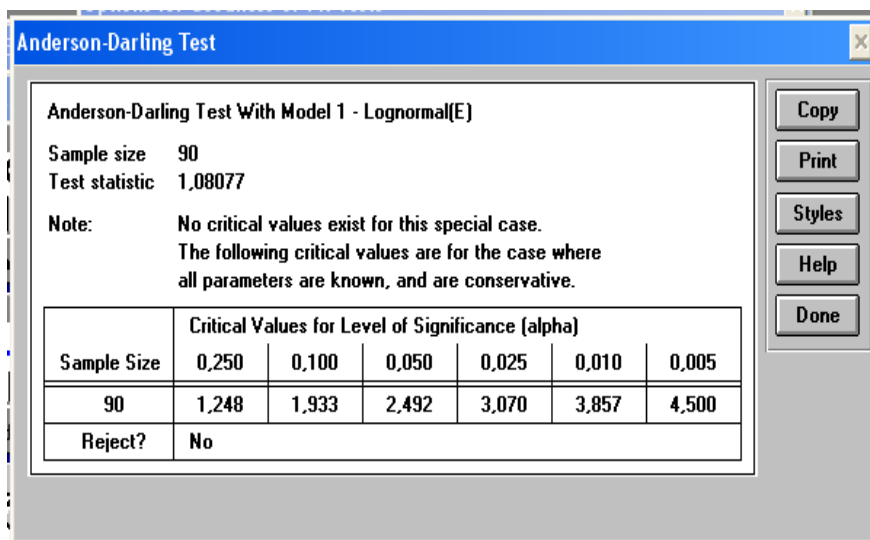


Figura 1: Test Anderson-Darling

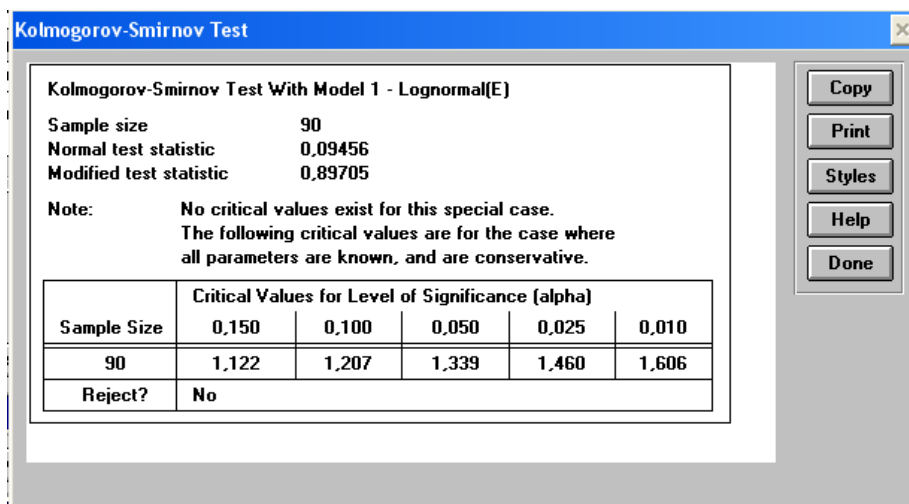


Figura 2: Test Kolgomorov-Smirnov

ANEXO C: Layout Taller de Rodillos

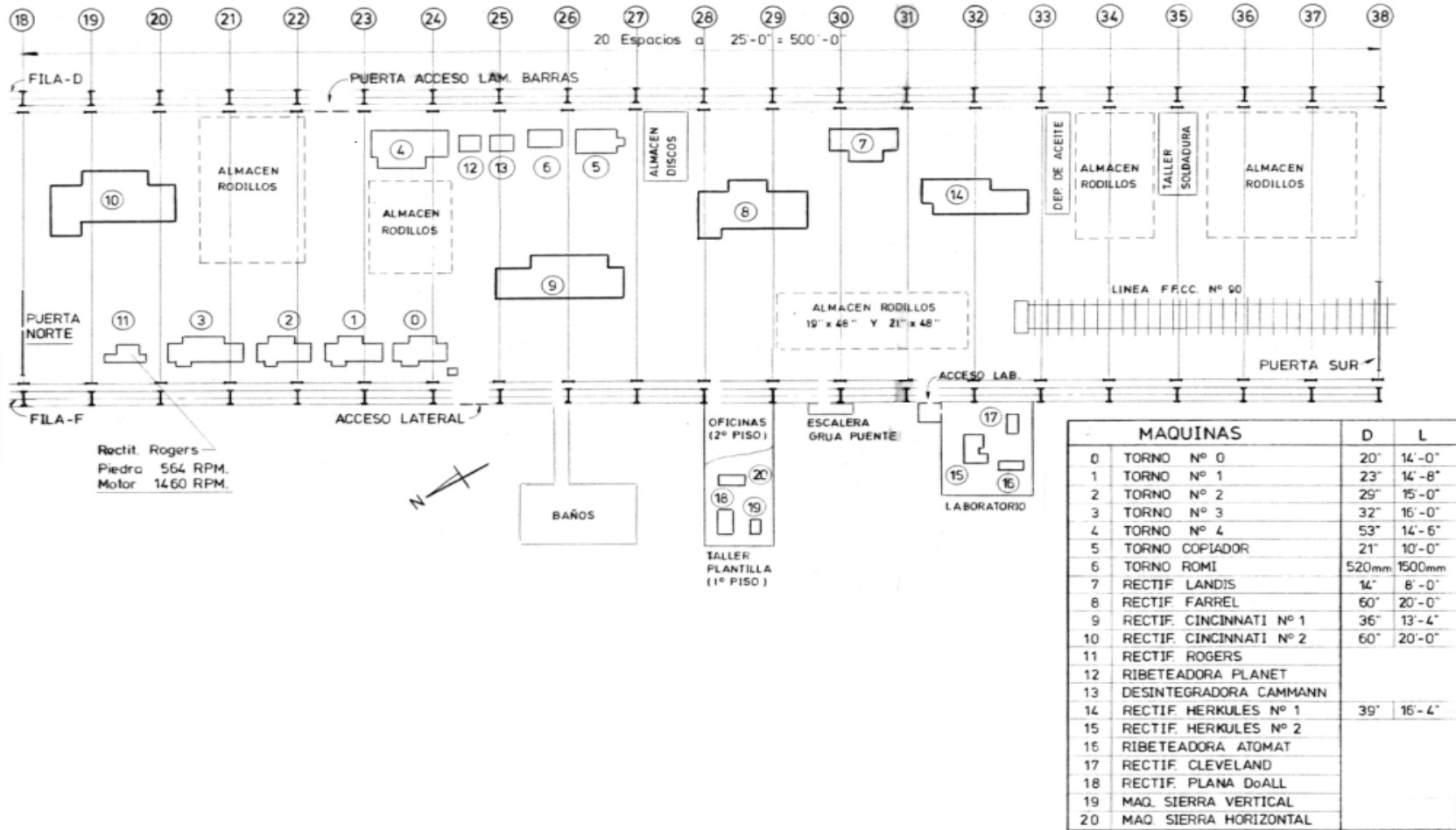


Figura 3: Layout taller de rodillos.

Fuente: Sala diseño Taller de rodillos.

Anexo D

Lógicas de movimientos de rodillos dentro del taller

Con este diagrama se puede hacer un seguimiento de los movimientos que hacen los rodillos dentro del taller para su recuperación y posterior salida.

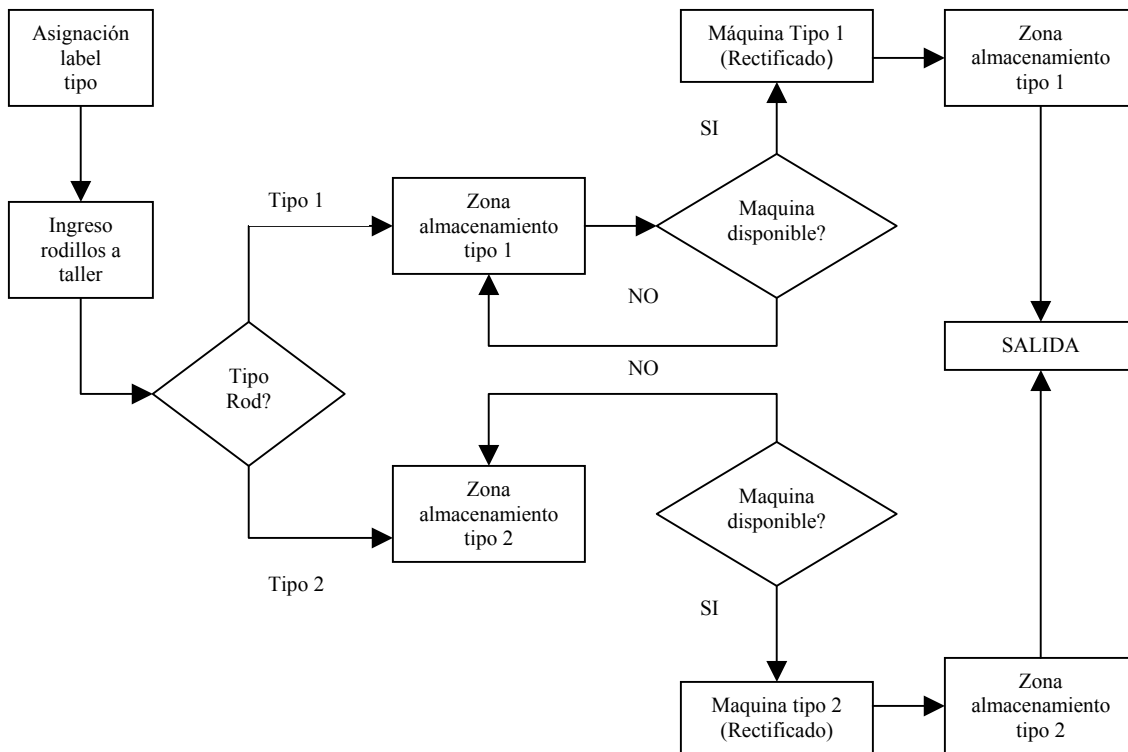


Figura 4: Lógicas de movimiento rodillos.

Fuente : Observación en terreno y consulta a operarios (elaboración propia).

Lógicas de movimiento grúa puente

El siguiente diagrama nos muestra todos los movimientos realizados por el único medio de transporte para los productos del taller (rodillos), teniendo en consideración prioridades y destinos

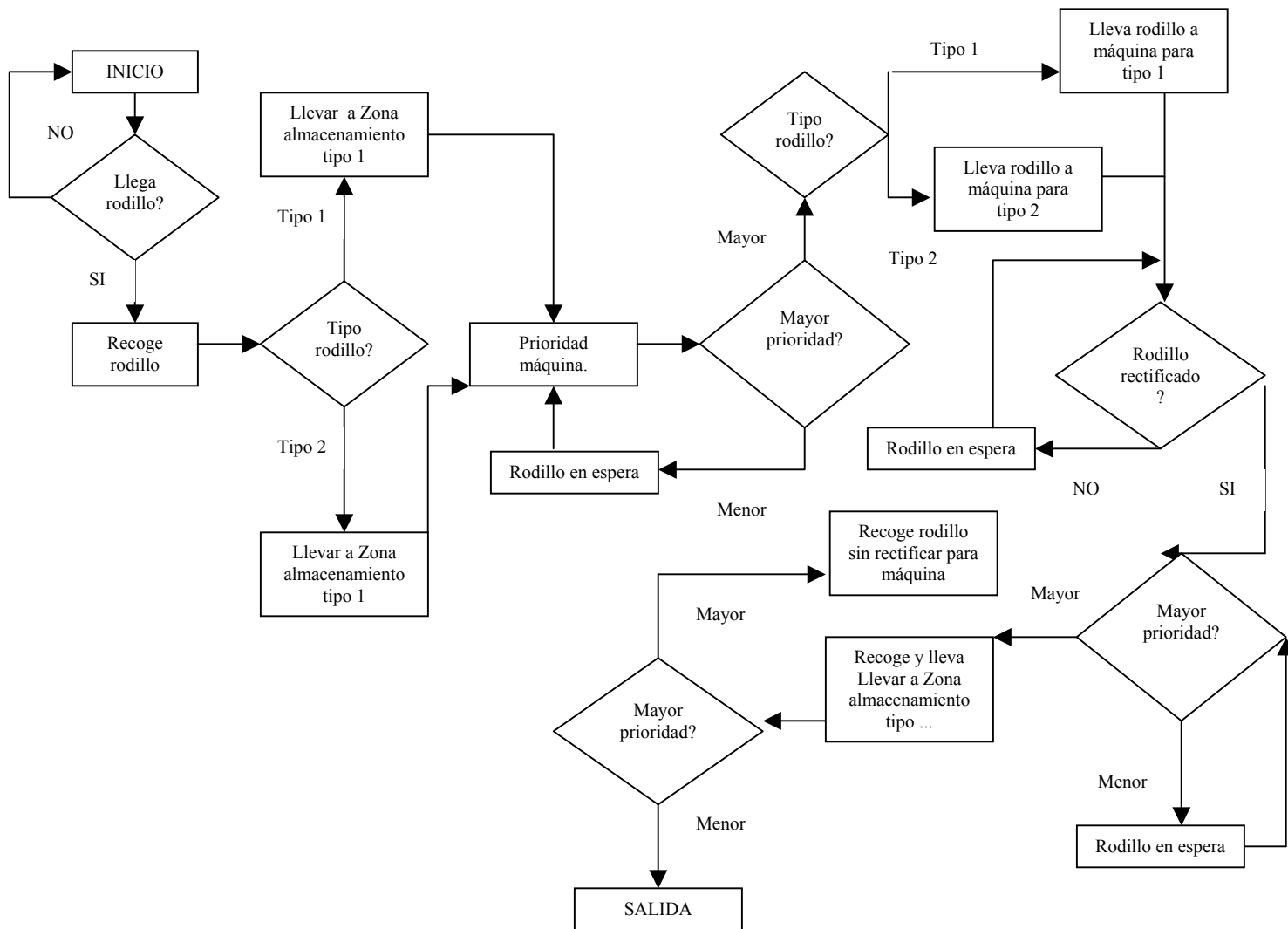


Figura 5: Lógicas de movimiento grúa puente.

Fuente : Observación en terreno y consulta a operarios (elaboración propia).

Anexo E.

Flujograma Sección Rodillos: Descripción de movimientos de los productos dentro del taller.

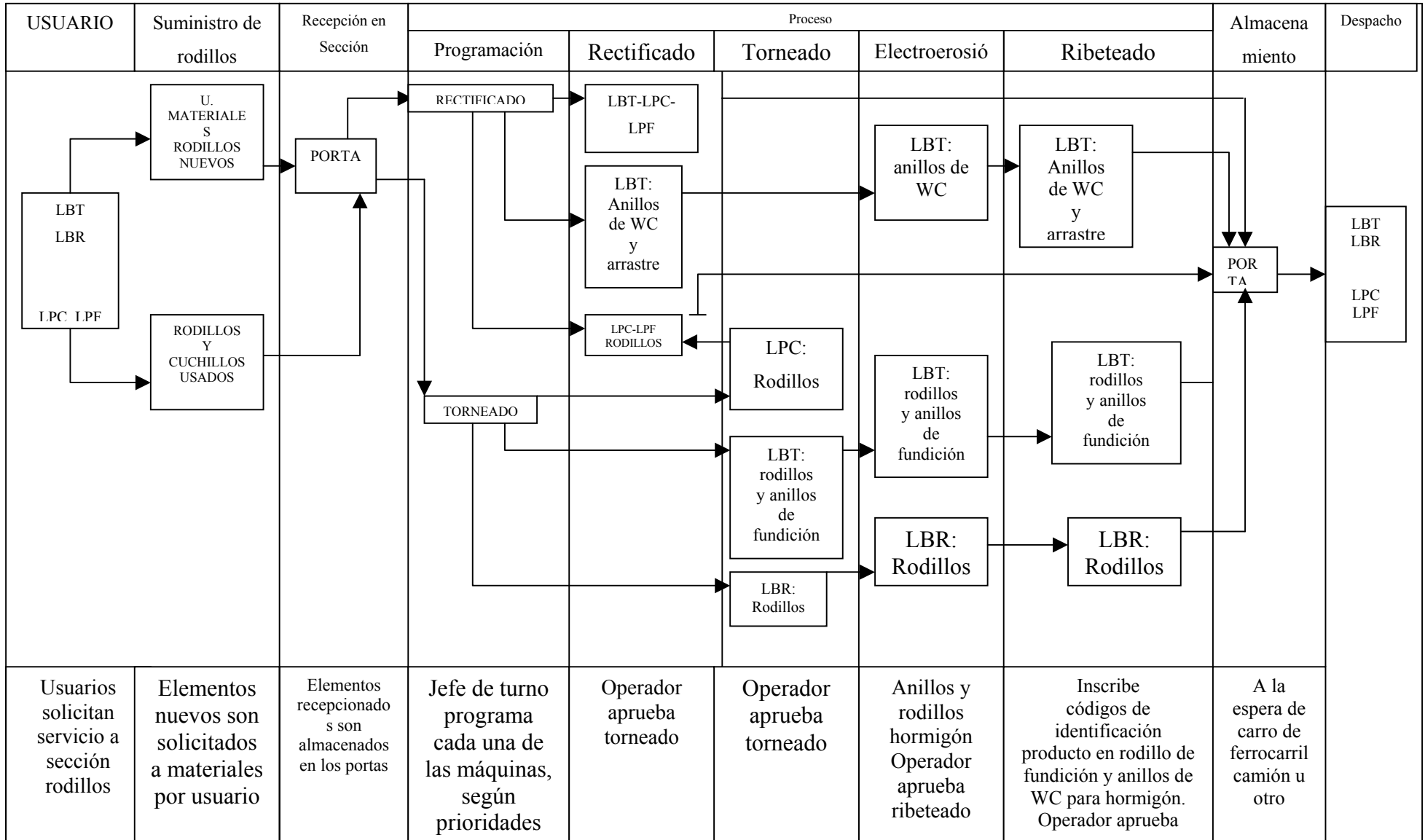


Figura 6: Flujograma sección Rodillos.

Fuente: Compañía Siderurgica Huachipato S.A. [en línea] <<http://www.huachipato.cl/intranet.html>> [consulta: Diciembre 2004]