



TESIS DE GRADO
EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

OPTIMIZACIÓN DE CHAPA
Y METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Autor: Natalia J. Neu

Director de Tesis: Ing. Alberto Alazraqui

2008

Al Lic. Juan Carlos Cambón
y a la Ing. María Pía Caraccia

RESUMEN EJECUTIVO

El propósito de este proyecto fue optimizar la materia prima, la mano de obra (evitando trabajos improductivos), los materiales y repuestos (herramientas de corte) y dejar registrada la metodología de trabajo. En los casos en los cuales la decisión actual de corte ya era la óptima, sólo se procedió a la generación del registro de corte correspondiente.

Actualmente los cortes de chapa los decide el operario de guillotinas, que cuenta con más de 20 años de experiencia en el puesto. No hay estudios previos o, si los hubo, no existen registros. El proceso es, entonces, totalmente hombre-dependiente y tampoco se puede asegurar que la decisión tomada por este operario sea la óptima.

La metodología que se utilizó para resolver este problema fue la modelización mediante Programación Lineal. Puntualmente se utilizó la herramienta Solver de Excel. Dentro del modelo se contemplaron los siguientes costos relacionados al corte de chapa: materia prima, costo de mano de obra asignado al corte, costo prorrateado por corte del herramental (cuchilla de corte).

Las soluciones que se obtuvieron fueron las óptimas para el mes en que se aplicó el programa.

También se optimizó la materia prima desde la compra de las chapas. Se revisaron las medidas de compra y se modificaron los largos de compra ajustándolos a las necesidades de la empresa y tolerancias del proveedor. Los anchos no se pudieron modificar ya que los mismos dependen del tren de laminación del proveedor.

El alcance de este trabajo se limitó a la línea de termotanques, de los mismos se estudiaron sólo las chapas más gruesas (de 1,60 mm en adelante), puesto que para diámetros inferiores existe la posibilidad de cambiar chapas por bobinas.

EXECUTIVE SUMMARY

The purpose of this project was to optimize the raw material, labour (avoiding unproductive work), materials and spare parts (cutting tools) and leave a recorded work methodology. In cases in which the current cut decision was already the best, only proceeded to the generation of registration cutoff.

The actual cuts are decided by the operator of guillotines, who has more than 20 years experience in the job. There are no previous studies or, if any, there are no records. The process is thus totally man-dependent and neither can ensure that the decision taken by this operator is the best.

The methodology that was used to solve this problem was through modelling by Linear Programming. The tool that was used is Excel Solver. Within the model were contemplated the following costs related to cutting sheet metal: raw material, labor cost assigned to the cut, a prorated cost cutting tooling (cutting blade).

The solutions that were obtained were the best for the month in which the program was implemented.

It was also optimized the raw material from the buying. The length was reviewed to adjust the purchase to the company's needs and tolerances of the supplier. The widths could not be amended because they depend on the mill's supplier.

The scope of this study was limited to water heaters line, of them were studied only thicker sheets (equal to or greater than 1.60 mm), since for inferior diameters there is a possibility of changing the use of sheets into coils.

DESCRIPTOR BIBLIOGRÁFICO

El objetivo de estudio es optimizar, mediante programación lineal, el aprovechamiento de chapa en el puesto de trabajo de guillotinas. Como herramienta de programación lineal se utiliza el Excel Solver. Además se hace una revisión en las medidas de compra de la materia prima.

Para la optimización se tienen en cuenta tres factores básicos, asociados a las distintas alternativas de configuración de corte: el costo del scrap generado, el costo de mano de obra y el costo del herramental (cuchilla de corte).

También se logra independizar del operario la decisión de configuración de corte; consiguiendo que sea la óptima y que el tiempo para alcanzar esa decisión sea mínimo.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia

A la familia Gak

A la Ing. Mónica Luciola

A Lucía Galli

TABLA DE CONTENIDOS

SECCIÓN 1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. INTRODUCCIÓN	3
1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO	5
1.3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	7
1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	9
1.5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	11
1.6. ALCANCE DEL ESTUDIO	13
1.7. ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA	15
1.7.1. Aprovechamiento actual de chapa	16
SECCIÓN 2. ESTUDIO DE CHAPAS Y DESARROLLOS.	17
2.1. ESTUDIO DE DESARROLLOS	19
2.2. PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN	23
2.3. PROPUESTA DE DISPOSICIONES EN CHAPA	27
2.3.1. MCHA12650, Espesor = 3,20 mm	27
2.3.2. MCHA10013, Espesor = 2,50 mm	28
2.3.3. MCHA10000, Espesor = 2,00 mm	28
2.3.4. MCHA10975, Espesor = 1,60 mm	29
2.4. FACTIBILIDAD EN FUNCIÓN DEL SENTIDO DE LAMINACIÓN	39
2.5. REVISIÓN DE MEDIDAS DE COMPRA DE MATERIA PRIMA	41
2.5.1. Chapa MCHA12650	41
2.5.2. Chapa MCHA10975	42
SECCIÓN 3. ESTUDIO DE TIEMPOS Y COSTOS.	45
3.1. TIEMPO DE CICLO EN GUILLOTINAS	47
3.2. JUSTIFICACIÓN FINANCIERA DE LA PROPUESTA	53
3.2.1. Cambio de medida propuesto para la compra de chapas	53
3.2.1.1. Chapa: MCHA12650	53
3.2.1.2. Chapa: MCHA10975	56
3.2.2. Ahorro que se logra de scrap, MO y herramental	60
3.3. COSTO DE MATERIA PRIMA, MANO DE OBRA Y HERRAMENTAL	61
3.3.1. Materia Prima	61
3.3.2. Mano de Obra	61
3.3.3. Herramental	62
SECCIÓN 4. PROGRAMACIÓN LINEAL.	63
4.1. PROGRAMACIÓN LINEAL. SOLVER	65
4.1.1. Conceptos Básicos	65

Optimización de Chapa y Metodología de Trabajo

4.1.2. Descripción del Programa _____	66
4.1.3. Programa en Solver _____	68
4.2. RESULTADOS _____	73
4.3. REGISTRO DE DATOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO _____	75
SECCIÓN 5. CONCLUSIONES. _____	77
5.1. CONCLUSIONES _____	79
5.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN _____	81
APÉNDICE. BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS. _____	83
A. BIBLIOGRAFÍA _____	85
B. ANEXOS _____	87

TABLAS

Tabla 1.1. Datos de la empresa _____	7
Tabla 1.2. Tipos de Chapas _____	13
Tabla 2.1. Modelos de Termotanques _____	19
Tabla 2.2. Chapas estudiadas _____	20
Tabla 2.3. Desarrollos que se extraen de cada chapa _____	20
Tabla 2.4. Ventas de Termotanques en unidades del período 2008-2009 _____	23
Tabla 2.5. Porcentaje de Ventas de Termotanques del período 2008-2009 _____	23
Tabla 2.6. Porcentajes relativos del mix de producción _____	24
Tablas 2.7 y 2.8. Ventas del mes de Mayo de 2009 de Termotanques y Calefactores producidos con las chapas estudiadas _____	25
Tabla 2.9. Cuadro de Configuraciones de corte a partir de recortes _____	33
Tabla 2.10. Cuadro de Configuraciones a partir de chapa entera _____	36
Tabla 3.1. Datos de compras de Febrero 2008 de la chapa MCHA12650 _____	53
Tabla 3.2. Volumen de una chapa con el largo de compra actual y con el largo propuesto _____	54
Tabla 3.3. Peso de las chapas, calculado como la multiplicación del volumen por el peso específico _____	54
Tabla 3.4. Ahorro de chapa en \$, por cambio en el largo de compra _____	54
Tabla 3.5. Ahorros mensuales y acumulados para la chapa MCHA12650 _____	55
Tabla 3.6. Datos de compras de Febrero 2008 de la chapa MCHA10975 _____	56
Tabla 3.7. Volumen de una chapa con el largo de compra actual y con el largo propuesto _____	57

Tabla 3.8. Peso de las chapas, calculado como la multiplicación del volumen por el peso específico _____	57
Tabla 3.9. Ahorro de chapa en \$, por cambio en el largo de compra _____	57
Tabla 3.10. Ahorro por termotanque por cambio de medida en chapa MCHA10975 _____	58
Tabla 3.11. Ahorros mensuales y acumulados para la chapa MCHA10975 _____	58
Tabla 3.12. Costos asociados a la chapa MCHA10975 _____	62
Tabla 4.1. Parámetros valorizados y Coeficientes de cada configuración _____	67
Tabla 4.2. Resultados obtenidos de la optimización realizada para el mes de Mayo '09 _____	74

FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama de flujo del proceso _____	9
Figura 1.2. Tipos de Cortes _____	15
Figura 1.3. Patrones de Corte _____	16
Figura 2.1. Planilla en excel para carga de datos _____	21
Figura 2.2. Desarrollos SDSA31317 ubicados en la chapa MCHA12650 _____	27
Figuras 2.3 y 2.4. Desarrollos SDSA30017 y SDSA32306, ubicados en la chapa MCHA10013 _____	28
Figura 2.5. Desarrollos SDSA32116 y SDSA32245, ubicados en la chapa MCHA10000 _____	29
Figura 2.6. Desarrollos SDSA30021 ubicados en la chapa MCHA10975 _____	30
Figura 2.7. Desarrollos SDSA30019 ubicados en la chapa MCHA10975 _____	31
Figura 2.8. Desarrollos SDSA31307 ubicados en la chapa MCHA10975 _____	31
Figura 2.9. Desarrollos SDSA31735 y SDSA31736, ubicados en los recortes obtenidos en la Figura 2.7 _____	32
Figura 2.10. Configuraciones A (la de arriba) y B (la de abajo) _____	33
Figura 2.11. Fuera de escuadra aplicado al ancho en su totalidad _____	43
Figura 2.12. Fuera de escuadra aplicado al largo en su totalidad _____	44
Figura 3.1. Chapa MCHA12650 _____	53
Figura 3.2. Chapa MCHA10975 _____	56
Figura 4.1. Planilla excel donde se generó el modelo _____	68
Figura 4.2. Ventana "Parámetros de Solver" de la herramienta Solver de excel _____	69
Figura 4.3. Ventana "Agregar restricción", proveniente de "Parámetros de Solver" _____	69
Figura 4.4. Ventana "Opciones de Solver", proveniente de "Parámetros de Solver" _____	71

Optimización de Chapa y Metodología de Trabajo

Figura 4.5. Ventana “Parámetros de Solver” con las restricciones y los datos cargados	71
Figura 4.6. Planilla excel donde se generó el modelo con los resultados obtenidos_	73
Figura 4.7. Planilla de excel, diseñada para cargar datos	75
Figura 4.8. Resultados obtenidos, ver fila 8	76

SECCIÓN 1. INTRODUCCIÓN.

1.1. INTRODUCCIÓN

El propósito de este proyecto es optimizar la materia prima, la mano de obra (evitando trabajos improductivos), los materiales y repuestos (herramientas de corte) y dejar registrada la metodología de trabajo. En los casos en los cuales la decisión actual de corte ya sea la óptima, sólo se procederá a la generación del registro de corte correspondiente.

Actualmente los cortes de chapa los decide el operario de guillotinas, que cuenta con más de 20 años de experiencia en el puesto. No hay estudios previos o, si los hubo, no existen registros. El proceso es, entonces, totalmente hombre-dependiente y tampoco se puede asegurar que la decisión tomada por este operario sea la óptima.

Si bien existen softwares para optimizar cortes de superficies, los mismos no tienen en cuenta factores claves propios del proceso de corte en guillotinas. Estos softwares están orientados a otras actividades y materiales, principalmente a la industria maderera y de mueblería.

Establecer una metodología de trabajo sistematizada, sentará las bases para una planificación eficiente en el futuro e independizará el proceso de la persona de turno. También será replicable en otras empresas del rubro metalmeccánico.

El alcance de este trabajo se limita a la línea de termotanques, de los mismos se estudiarán sólo las chapas más gruesas (de 1,60 mm en adelante), puesto que para diámetros inferiores existe la posibilidad de cambiar chapas por bobinas.

1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO

- Definir y seleccionar las variables que influyen en el proceso de optimización de materia prima. Puntualizar en el caso específico de estudio que es el de EMEGE S.A.
- Definir las restricciones y limitaciones que circundan al problema.
- Especificar, diseñar y evaluar el método propuesto. Registrarlo.
- Desarrollar un documento con la metodología utilizada y dejar registro del mismo.

1.3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La empresa donde se realizará el trabajo de estudio es EMEGE S.A., una empresa PYME de origen familiar fundada en 1933 por Manuel Gak y que en la actualidad es conducida por los nietos del fundador.

Al desarrollarse el gas natural como combustible en Argentina, EMEGE surge como líder e innovador en el desarrollo de productos a gas lanzando a principios de los '60 la línea de calefactores individuales. En los '80 se construye una marca líder y referente en el mercado de gasodomésticos.

Esta empresa, con 75 años de trayectoria en nuestro país, se dedica a la fabricación de calefactores, termotanques y cocinas como principales productos, y también comercializa ventiladores de techo, aire acondicionados, forzadores de aire, patio heaters y barbacoas para completar su línea de productos.

Exportaciones a diversos mercados internacionales: México, Brasil, Colombia, Perú, Uruguay, EEUU, Nueva Zelanda, Argelia y Sudáfrica posicionan a EMEGE como el exportador Argentino N°1 en la línea de calefactores a gas.

Desde hace 10 años desarrolla sus actividades en una planta de 27.000 m² ubicada en Carlos María de Alvear y Julio Argentino Roca, Florida, provincia de Buenos Aires. Actualmente emplea a casi 350 empleados que se dividen entre los que están contratados por agencia y los que son personal efectivo de la firma.

El personal efectivo de la empresa se compone de 200 personas, de las cuales 80 desempeñan tareas de supervisión, administración, finanzas, contabilidad, marketing, ingeniería, compras y ventas. Las 120 personas restantes son operarios. La empresa contrata a través de 2 agencias a 150 operarios más.

Los siguientes son algunos datos que muestran las dimensiones de sus actividades:

Producción anual (en unidades)			Ventas Ej.06/07	Crecimiento Anual (04/07)
Calefactores	Termotanques	Cocinas	MM U\$S	%
139.000	37.000	5.500	22	40

Tabla 1.1. Datos de la empresa

Líneas de Productos:

- Calefacción

Tiro Balanceado

Sin Conexión al Exterior

Termostáticos / No Termostáticos

Murales y Móviles

- Agua Caliente

Residenciales a gas (TRG)

Residenciales eléctricos (TRE)

Alta recuperación (TAR)

- Cocinas

1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Puesto que, como se verá más adelante, el estudio se centrará en los termotanques, a continuación se resume el proceso productivo del mismo. Se presenta a modo descriptivo el siguiente diagrama:

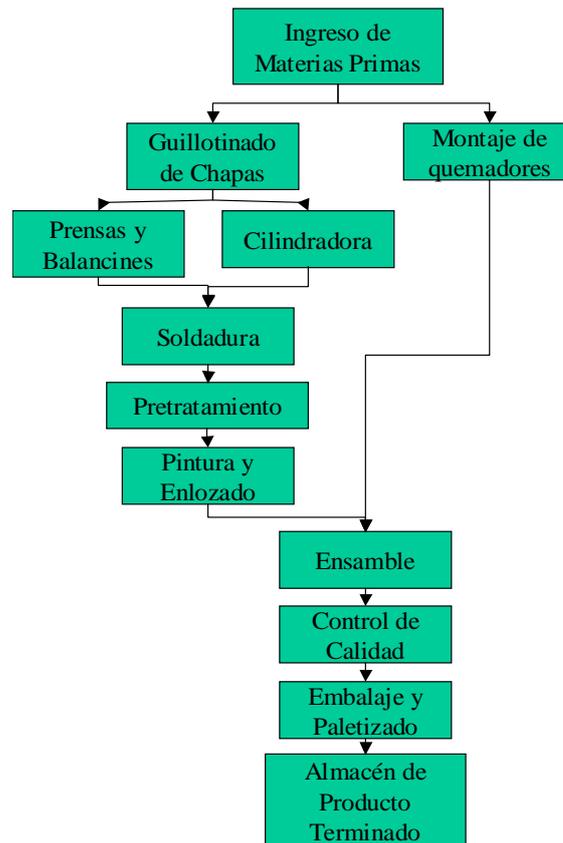


Figura 1.1. Diagrama de flujo del proceso

Este comprende desde el ingreso de todas las materias primas, hasta la salida del termotanque como producto terminado, listo para su despacho.

La chapa pasa de su almacén al sector de guillotinas, donde se cortan los desarrollos de las piezas que van a formar parte del producto terminado. Guillotinas arma las órdenes de cortes que luego pasan al sector de prensas y balancines. Allí se les realizan las operaciones de estampado, punzonado y refilado, entre otras. En el caso de las envolventes de los tanques, después de ser cortadas en guillotinas se las cilindra.

Todas las piezas conformadas son soldadas para armar unidades antes de pasar al sector de pintura o enlozado. En el caso del enlozado, actualmente es un proceso tercerizado, ya que el horno que la empresa posee se encuentra en proceso de instalación. Una vez soldadas las piezas que van a recibir este

tratamiento, son despachadas a un proveedor para que realice el tratamiento, para luego volver a ingresarlas al circuito productivo.

Las piezas que se pintarán son pretratadas en una línea de fosfatizado por inmersión, para luego ser pintadas en las cabinas, ya sea en la manual (pintura líquida) o en la cabina de pintura en polvo, dependiendo de la pieza que se trate.

Los quemadores por su parte son montados en una sector de acceso restringido dentro de la planta, por tener incorporados válvulas de gran valor comercial.

Todas las piezas terminadas son llevadas a la línea de montaje en donde, en sucesivas operaciones, se ensamblan todos los componentes de los diferentes termotanques y se les realizan las pruebas de fuga correspondientes. El termo terminado es enfundado con una bolsa de polietileno termocontraíble y envuelto con cachas de telgopor, para luego ser paletizado y movido al depósito de producto terminado.

Durante el proceso, las piezas de los termotanques son sometidas a rigurosos controles de calidad. A todos los quemadores se les realizan pruebas de fuga de gas, y a los tanques se les realiza una prueba hidráulica.

Actualmente, EMEGE cuenta con 3 líneas de termotanques diferentes, cada una con 3 tamaños comerciales. La mano de obra empleada para la fabricación de los diferentes productos varía según el tamaño del termo y su complejidad, como así también según la eficiencia del proceso. Es por eso que un termotanque de la línea de alta recuperación se costea con 177 minutos de mano de obra asignados, un multigas con 112 minutos y un eléctrico con 100 minutos.

1.5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema principal subyace en el aprovechamiento de la chapa, materia prima de esta industria. La optimización afecta desde la ubicación de los desarrollos en chapa, hasta las medidas de compra de la misma. Actualmente los cortes de chapa los decide el operario de guillotinas, que cuenta con más de 20 años de experiencia en el puesto. No existen estudios previos o, si los hubo, no existen registros. El proceso es totalmente hombre-dependiente y tampoco se puede asegurar que la decisión tomada por este operario sea la óptima. Entonces el otro problema, asociado al principal, es que no existe una metodología de trabajo registrada que explique cómo se debe realizar el proceso de toma de decisión de cortes en chapa. Y por lo tanto tampoco se lleva un control del scrap generado en guillotinas.

El objetivo es:

- ✓ Optimizar el uso de la chapa
- ✓ Establecer la metodología que permita implementar estas optimizaciones a lo largo del tiempo, replicar el procedimiento en todas las chapas utilizadas
- ✓ Poder trasladar la metodología a otras industrias del rubro metalmeccánico que encuadren dentro de la descripción del puesto de guillotinas y uso de hoja de chapa.

1.6. ALCANCE DEL ESTUDIO

El siguiente trabajo se limitará a estudio de la distribución de desarrollos en chapa, en el puesto de guillotinas, de la línea de termotanques. De los mismos se estudiarán sólo las chapas más gruesas (de 1.6 a 3.2 mm), puesto que para espesores inferiores existe la posibilidad, a ser estudiada en una futura investigación, de cambiar el uso de chapas por bobinas. Como lo que se analiza son las chapas, se deberán considerar todos los desarrollos que se corten en cada una, incluyendo los desarrollos que no pertenezcan a termotanques.

Las chapas analizadas se dividen en dos grupos, las de acero laminado en frío (LAF) que comprende a los espesores de 1.6, 2.0 y 2.5 mm y las de acero laminado en caliente (LAC), grupo en el cual se halla sólo la de espesor de 3.2 mm. En la siguiente tabla podrán observarse los datos pertinentes de cada tipo de chapa:

Tipo de Laminación	Material	Espesor	Ancho	Largo
		(mm)		
en Frío	Acero SPO	1,6	1500	2600
	Acero SPO	2,0	1500	1500
	Acero SPO	2,5	1500	1500
en Caliente	Acero Lac	3,2	1500	1500

Tabla 1.2. Tipos de Chapas

1.7. ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA

Hoy en día existen softwares para optimizar cortes de superficies, pero los mismos no tienen en cuenta factores claves propios del proceso de corte en guillotinas. Estos softwares están orientados a otras actividades y materiales, principalmente a la industria maderera y de mueblería, donde las herramientas de corte son caladoras o sierras. Estas otras herramientas permiten realizar secuencias de cortes que no son posibles mediante el uso de guillotinas. Se definen entonces dos tipos de cortes: los cortes guillotina (Figura 1.2(a)) y los cortes no guillotina (Figura 1.2(b))¹.

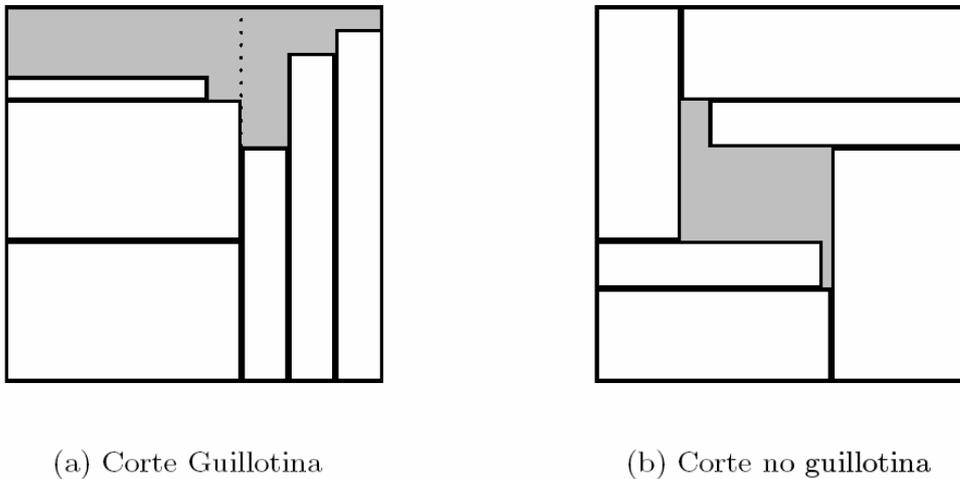
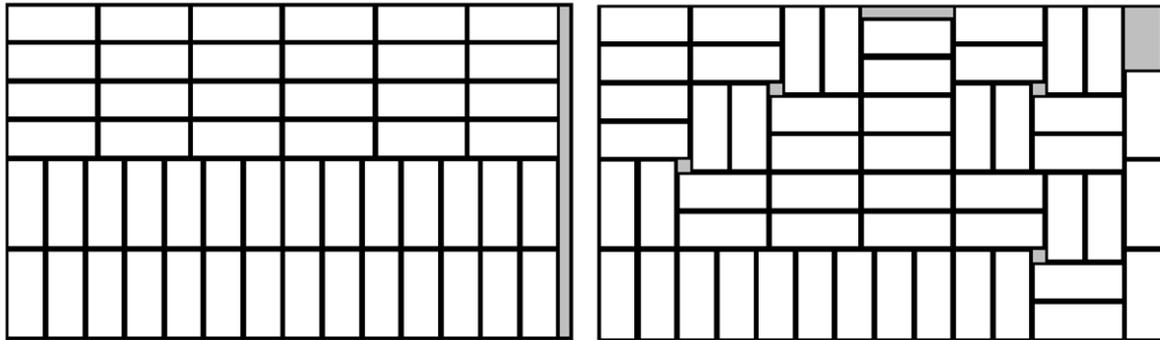


Figura 1.2. Tipos de Cortes

Un corte es de tipo guillotina si cuando se aplica sobre un rectángulo produce dos nuevos rectángulos, es decir, si el corte va de un extremo a otro del rectángulo original; en otro caso se denomina de tipo no guillotina. Un patrón es de tipo guillotina (Figura 1.3(a)) si se puede obtener por sucesivos cortes de tipo guillotina. Un patrón es llamado de primer orden no guillotina (Figura 1.3(b)) si es obtenido por sucesivos cortes guillotina y/o cortes de primer orden no guillotina.

¹ Parreño Torres, F. 2004. Algoritmos heurísticos y exactos para problemas de corte no guillotina en dos dimensiones. Universitat de Valencia. Servei de Publicacions. España.



(a) Patrón Guillotina

(b) Patrón de primer orden

Figura 1.3. Patrones de Corte

La limitación principal que presentan estos softwares son, entonces, que optimizan toda la superficie posible a partir de setear patrones de primer orden. También existen otro tipo de limitaciones en la mayoría de los softwares, por ejemplo que no permitan decimales en las dimensiones de los cortes. Esto es una limitación para esta empresa que posee cortes en milímetros con decimales, de más está decir que en una empresa donde los cortes no tengan decimales, esto no generará ninguna limitación.

1.7.1. Aprovechamiento actual de chapa

Actualmente, como se comentó anteriormente, los cortes de chapa son decididos por el operario de guillotinas. Por lo tanto no se cuenta con una planificación estratégica para la optimización a mediano y largo plazo de la materia prima.

Los recortes son almacenados al pie de la guillotina y son utilizados a medida que se van necesitando. Eso implica que un recorte que podría ser mejor aprovechado para cierto desarrollo se termine usando en otros.

SECCIÓN 2. ESTUDIO DE CHAPAS Y DESARROLLOS.

2.1. ESTUDIO DE DESARROLLOS

Los productos que se estudiarán son los 12 modelos de termotanques (seis modelos de alta recuperación¹, tres modelos multigas² y tres modelos eléctricos³) que fabrica EMEGE S.A., pueden observarse en la siguiente tabla:

Código	Tipo	Capacidad	Recuperación
		litros	litros/hora
TTEAR001/004	Alta recuperación	55	550
TTEAR002/005		80	840
TTEAR003/006		136	1040
TTERG007	Residencial Multigas	55	-
TTERG008		85	-
TTERG009		125	-
TTERE010	Residencial Eléctrico	55	-
TTERE011		90	-
TTERE012		125	-

Tabla 2.1. Modelos de Termotanques

De cada termotanque se consultó en SAP (sistema de información recientemente adquirido por la empresa) los desarrollos que tenía asignados para su fabricación. Cada desarrollo posee un código que permite identificar las medidas de corte y el tipo de chapa que utiliza. En el Anexo podrán consultarse las tablas, para cada modelo de termotanque, que poseen los códigos de los desarrollos, las medidas de los mismos, la cantidad de desarrollos de cada tipo que lleva el modelo y a qué código de chapa pertenecen. A continuación de esas tablas hay otra que identifica al código de la chapa con el espesor y material que le corresponde.

Se eligieron las chapas de espesor superior o igual a 1,6 mm, porque para las chapas más finas existe la posibilidad (a ser investigada en un próximo estudio) de reemplazar el uso de hojas por bobinas. Entonces, las chapas estudiadas son:

¹Alta Recuperación significa que con una capacidad de litros menor puede recuperar mayor cantidad de agua caliente. Se define como recuperación a la cantidad de litros capaz de calentar en 20° C durante una hora. Está considerado como un híbrido entre el calefón y el termotanque.

² Alimentación de gas natural, de red o envasado.

³ Alimentación de energía eléctrica.

Código de Chapa	Medidas	Material
MCHA10975	1,60X1500X2600 MM	ACERO SPO LAF
MCHA10000	2,00X1500X1500 MM	ACERO SPO LAF
MCHA10013	2,50X1500X1500 MM	ACERO SPO LAF
MCHA12650	3,20X1500X1500 MM	ACERO LAC

Tabla 2.2. Chapas estudiadas

Donde SPO LAF identifica al acero comercial estándar laminado en frío y LAC al acero laminado en caliente.

A partir de aquí se realizó el camino inverso: de cada una de estas chapas se localizaron todos los desarrollos que se cortan en cada una y a qué productos pertenecen. Esto es necesario para realizar un estudio completo que permita optimizar la materia prima en función del mix de producción. Entonces, a continuación, se presentan las tablas que identifican los desarrollos que se cortan de cada chapa estudiada:

CHAPA	DESARROLLOS	MEDIDAS DE DESARROLLOS	MEDIDAS DE CHAPA
MCHA12650	SDSA31317	3,20X480X480 MM	3,20X1500X1500 MM
MCHA10013	SDSA32306	2,50X25X1500 MM	2,50X1500X1500 MM
	SDSA30017	2,50X500X500 MM	
MCHA10000	SDSA32116	2,00X500X500 MM	2,00X1500X1500 MM
	SDSA32245	2,00X58X58 MM	
MCHA10975	SDSA30021	1,60X1284X1216 MM	1,60X1500X2600 MM
	SDSA30019	1,60X1284X714 MM	
	SDSA31307	1,60X494X1284 MM	
	SDSA31012	1,60X455X180 MM	
	SDSA31014	1,60X1000X174,8 MM	
	SDSA31735	1,60X141X56 MM	
	SDSA31736	1,60X194,5X56 MM	

Tabla 2.3. Desarrollos que se extraen de cada chapa

Obviamente las cantidades requeridas de cada desarrollo dependerán directamente de los productos que se fabriquen. Para eso se creó una planilla en Excel donde se organizaron, en una tabla de doble entrada, los productos en la primera fila, los desarrollos en la primer columna y la cantidad de

desarrollos por producto en cada intersección. A modo ilustrativo se muestra una parte de la tabla generada:

		Productos											
		TTEAR001	TTEAR002	TTEAR003	TTEAR004	TTEAR005	TTEAR006	TTERG007	TTERG008	TTERG009	TTERE010	TTERE011	TTERE012
Desarrollos	SDSA32116							1	1	1	1	1	1
	SDSA32245										1	1	1
	SDSA30001							1	1	1			
	SDSA30026							1	1	1			
	SDSA30031							1	1	1			
	SDSA30100	2	2	2	2	2	2						
	SDSA30101	2	2	2	2	2	2						
	SDSA30215	2	2	2	2	2	2						
	SDSA31309	2	2	2	2	2	2						
	SDSA31325	1	1	1	1	1	1						
	SDSA31329	1	1	1	1	1	1						
	SDSA31331	1	1	1	1	1	1						
	SDSA31341	1	1	1	1	1	1						
	SDSA32119							1	1	1			
	SDSA30688	4	4	4	4	4	4						
	SDSA31184	1	1	1	1	1	1						
	SDSA30006							1	1	1			
	SDSA30007							1	1	1			
	SDSA31339							1	1	1			
	SDSA32427		1	1		1	1						
	SDSA30005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	SDSA30012		1			1			1				
	SDSA30013									1			
SDSA30028	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Figura 2.1. Planilla en excel para carga de datos

A partir de esta tabla es fácil, cargando las cantidades de los distintos productos, obtener los requerimientos de corte de todos los desarrollos necesarios.

2.2. PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN

La información que se le debe cargar al sistema, son las cantidades de los distintos productos que se fabricarán, o sea, la programación de planta. Los datos se obtuvieron a partir de proyecciones de ventas anuales para el ejercicio 2008, realizadas por el Departamento de Ventas de la empresa. En las siguientes tablas se presentan los datos correspondientes a los termotanques:

Ventas Período Ago 08 - Jul 09 (en unidades)												
	ago-08	sep-08	oct-08	nov-08	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09
TTEAR001/004	217	218	272	216	122	191	207	361	323	409	344	362
TTEAR002/005	384	363	457	400	225	320	353	621	520	714	618	645
TTEAR003/006	182	195	275	219	111	173	190	325	263	363	296	320
Total por Mes (un)	784	776	1004	834	457	684	750	1307	1106	1485	1259	1327

Tabla 2.4. Ventas de Termotanques en unidades del período 2008-2009

Porcentaje mensual de Ventas Período Ago 08 - Jul 09												
	ago-08	sep-08	oct-08	nov-08	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09
TTEAR001/004	28%	28%	27%	26%	27%	28%	28%	28%	29%	28%	27%	27%
TTEAR002/005	49%	47%	46%	48%	49%	47%	47%	47%	47%	48%	49%	49%
TTEAR003/006	23%	25%	27%	26%	24%	25%	25%	25%	24%	24%	24%	24%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 2.5. Porcentaje de Ventas de Termotanques del período 2008-2009

Como puede observarse el mix de producción se mantiene en el tiempo. También se mantiene el mix por grupo de termotanques. O sea, de un mes a otro prácticamente no varía la relación de los TTEAR001 de los TTEAR004. Las tablas con los datos correspondientes se encuentran en el Anexo. En la Tabla 1.7 se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Código	Porcentaje mensual	
	respecto del total	respecto del modelo
TTEAR001	27%	93%
TTEAR004		7%
TTEAR002	48%	93%
TTEAR005		7%
TTEAR003	25%	92%
TTEAR006		8%

Tabla 2.6. Porcentajes relativos del mix de producción

Es importante mencionar que el output del sistema dependerá directamente del input que le sea cargado. De esta manera, si la información que se le carga al programa no es la correcta, las soluciones que se obtendrán no serán las óptimas al momento de llevarlo a la práctica y se terminará teniendo más scrap⁴ del esperado.

Los datos que se utilizarán para aplicar la optimización serán los correspondientes al mes de Mayo '09, por ser el mes de mayor producción de termotanques y calefactores. El procedimiento se aplica a un mes entero, ya que es la información más confiable con que se cuenta, puesto que estamos trabajando con datos proyectados y estimados, lo cual no puede hacerse para un día en particular porque empiezan a participar otros factores imponderables. Por ejemplo, que una materia prima no haya llegado; puede ser la chapa propiamente dicha o bien algún repuesto que se necesite en el proceso de montaje, por el cual la línea debería pararse o fabricar otro producto que no estaba programado.

A continuación se presentan las tablas con los datos del mes elegido:

⁴ El scrap se refiere a las sobras y comúnmente es usado para describir los materiales reciclables de valor monetario que son separados de la basura o salvados. En este caso son los recortes de chapa, no reutilizables para obtener desarrollos, que son vendidos como chatarra.

Termotanques	Ventas Mayo 2009 (en unidades)
TTEAR001	379
TTEAR002	661
TTEAR003	331
TTEAR004	29
TTEAR005	52
TTEAR006	31
TTERG007	542
TTERG008	1039
TTERG009	494
TTERE010	633
TTERE011	637
TTERE012	317

Calefactores	Ventas Mayo 2009 (en unidades)
TCAEU011	400
TCAEU012	767
TCAEU013	680
TCAEU014	428
TCAEU018	18
TCAEU019	20
TCAEU020	11
TCAEK001	0
TCAEK002	0
TCAEK003	0
TCAEK004	0

Tablas 2.7 y 2.8. Ventas del mes de Mayo de 2009 de Termotanques y Calefactores producidos con las chapas estudiadas

2.3. PROPUESTA DE DISPOSICIONES EN CHAPA

A partir de las chapas que se van a estudiar, y de los desarrollos que se cortan de las mismas, se presentan a continuación las distintas configuraciones propuestas. Además, se colocará un cuadro que especifique, de cada chapa para cada configuración, cantidad de scrap generado, cantidad de cambios de medida de topes de guillotina y cantidad de cortes.

2.3.1. MCHA12650, Espesor = 3,20 mm

Esta es la chapa más gruesa con la que se trabaja en EMEGE S.A. y es utilizada para un solo desarrollo, con lo cual la optimización se simplifica. El desarrollo que se corta es de 480 x 480 mm. La disposición con que se corta actualmente coincide con la recomendada. La única propuesta que se hace en esta chapa es una modificación respecto a la medida de compra. Este tema se tratará más adelante en este mismo capítulo. Se presenta a continuación el gráfico que muestra la disposición de desarrollos dentro de la chapa:

Desarrollo SDSA31317:

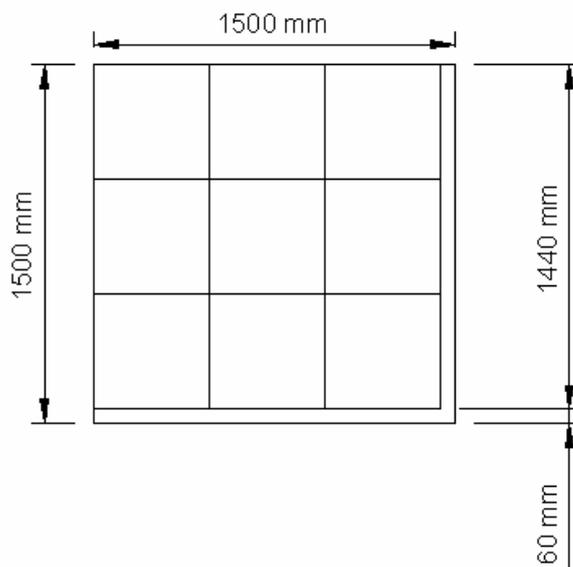
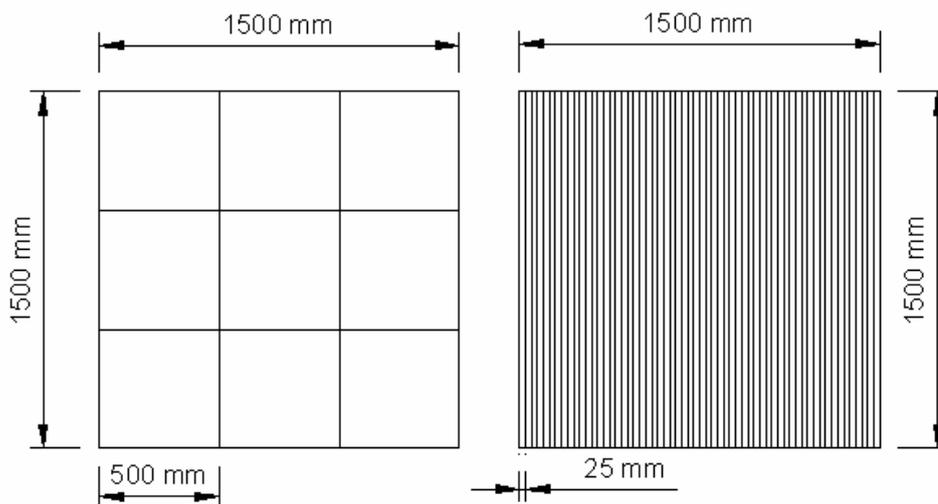


Figura 2.2. Desarrollos SDSA31317 ubicados en la chapa MCHA12650

2.3.2. MCHA10013, Espesor = 2,50 mm

Esta chapa es utilizada para dos desarrollos, con lo cual sigue siendo simple la decisión de ubicarlos dentro de la chapa. La medida de la hoja es de 1500 x 1500 mm y los desarrollos son de 500 x 500 mm y 1500 x 25 mm. La organización dentro de chapa para cada desarrollo es independiente, o sea, o se corta un tipo de desarrollo o se corta el otro. De esta manera, se aprovecha mejor el seteo de medida de corte de los topes de guillotina y el trabajo en continuo del operario, que se termina “automatizando” al realizar durante un cierto tiempo la misma tarea de repetición. En el siguiente gráfico pueden observarse las disposiciones propuestas que, nuevamente, coinciden con la forma actual en que se cortan:

Desarrollos SDSA30017 y SDSA32306:



Figuras 2.3 y 2.4. Desarrollos SDSA30017 y SDSA32306, ubicados en la chapa MCHA10013

2.3.3. MCHA10000, Espesor = 2,00 mm

Esta hoja se compra de 1500 x 1500 mm. Si bien en esta chapa también se cortan dos desarrollos, la organización dentro de chapa para cada desarrollo no es independiente. En este caso, a diferencia del anterior, sólo se corta un desarrollo (el de 500 x 500 mm, que es la tapa del termotanque) y luego de que

esta pieza pasa por la estación de prensas y balancines se utiliza un recorte interno para producir el desarrollo de 58 x 58 mm.

En el gráfico que se muestra a continuación se marca, en el primer desarrollo, la forma de la tapa que se estampará en la prensa. Luego de ser estampado se le cortan los bordes (rebaba) y un círculo interno concéntrico, de donde surge el desarrollo de 58 x 58 mm.

Desarrollos SDSA32116 y SDSA32245:

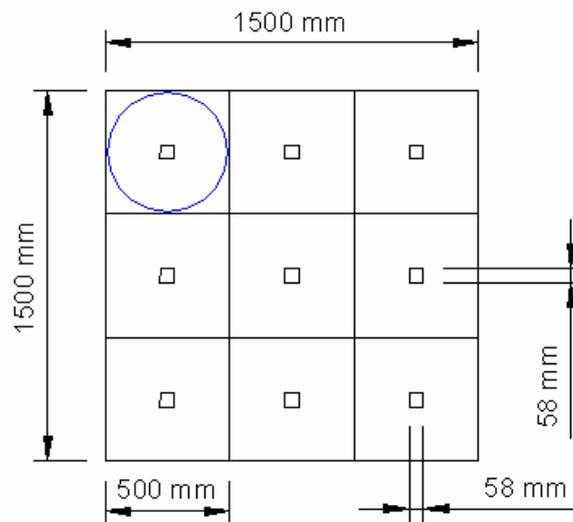


Figura 2.5. Desarrollos SDSA32116 y SDSA32245, ubicados en la chapa MCHA10000

2.3.4. MCHA10975, Espesor = 1,60 mm

Esta hoja se compra de 1500 x 2600 mm. En esta chapa se cortan tres desarrollos para ser utilizados en la fabricación de termotanques y cuatro para piezas de calefactores. Los mismos están descriptos en la Tabla 2.3 en el capítulo Descripción de Desarrollos. Se pueden observar en el gráfico que figura a continuación uno de los desarrollos de envoltente perteneciente a los termotanques:

Desarrollo SDSA30021:

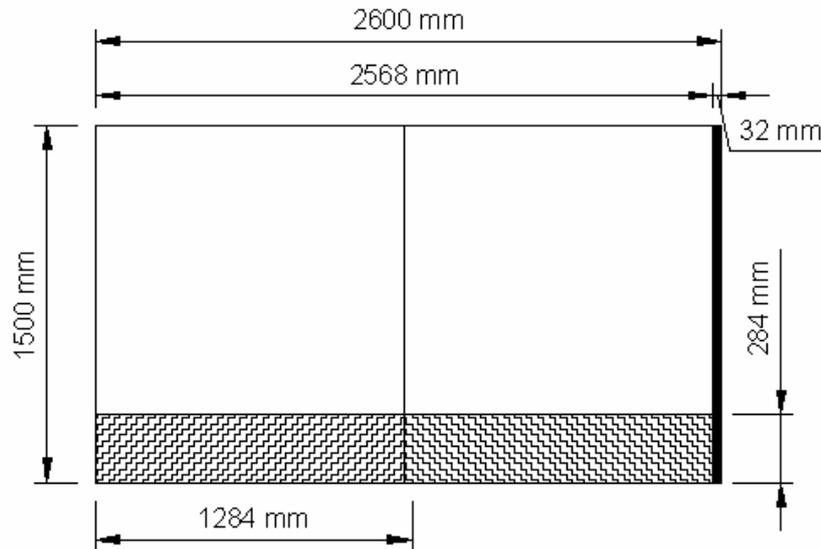


Figura 2.6. Desarrollos SDSA30021 ubicados en la chapa MCHA10975

Se puede observar una franja negra a la derecha, que representa un recorte no reutilizable, el cual se destina automáticamente a scrap. Lo mismo pasa en las dos configuraciones que se muestran a continuación y siempre la franja es de 1500 x 32 mm.

También se identifican dos rectángulos entramados de 1284 x 284 mm, que representan un recorte reutilizable, a partir de ahora llamado “recorte”.

Desarrollo SDSA30019:

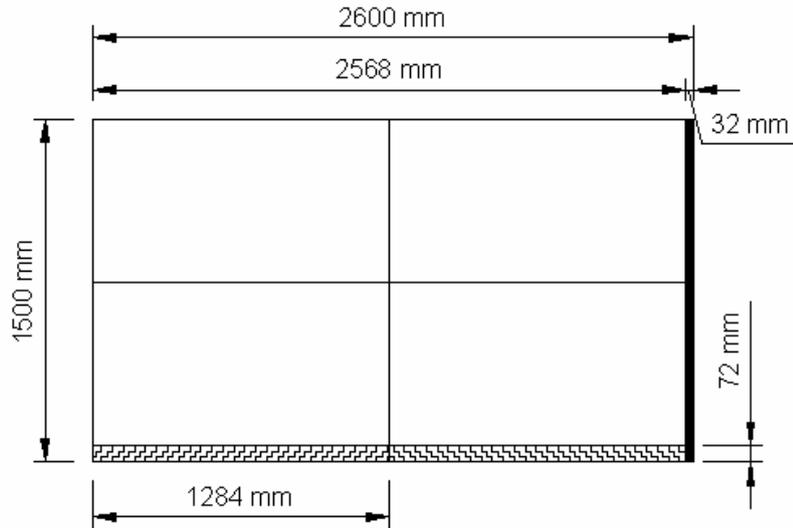


Figura 2.7. Desarrollos SDSA30019 ubicados en la chapa MCHA10975

Nuevamente se generan recortes (identificados en el gráfico con la misma trama anteriormente usada) de 1284 x 72 mm y un scrap de 1500 x 32 mm.

Desarrollo SDSA31307:

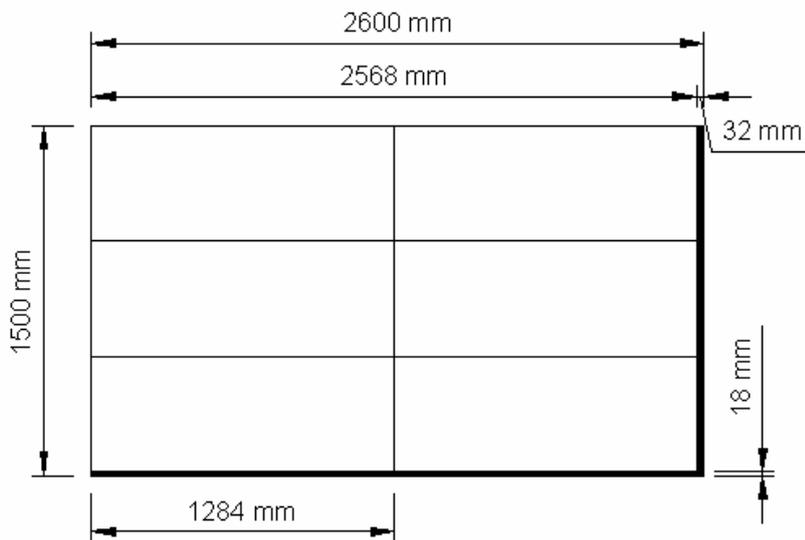


Figura 2.8. Desarrollos SDSA31307 ubicados en la chapa MCHA10975

En este último caso no queda ningún recorte. Se genera scrap (franjas negras) de 1500 x 32 mm y 18 x 2568 mm.

Optimización de Chapa y Metodología de Trabajo

A partir de los recortes generados se programará su utilización para cubrir las necesidades de las piezas de calefactores que surgen de esta chapa. Para los que no lleguen a entrar, ya sea porque no entren físicamente dentro del recorte, o porque no alcance la cantidad de recortes para satisfacer la necesidad de las piezas, deberán cortarse de una chapa entera. Es por eso que se muestran a continuación las configuraciones posibles, no sólo de los recortes, sino también de chapas enteras.

Desarrollos SDSA31735 y SDSA31736 :

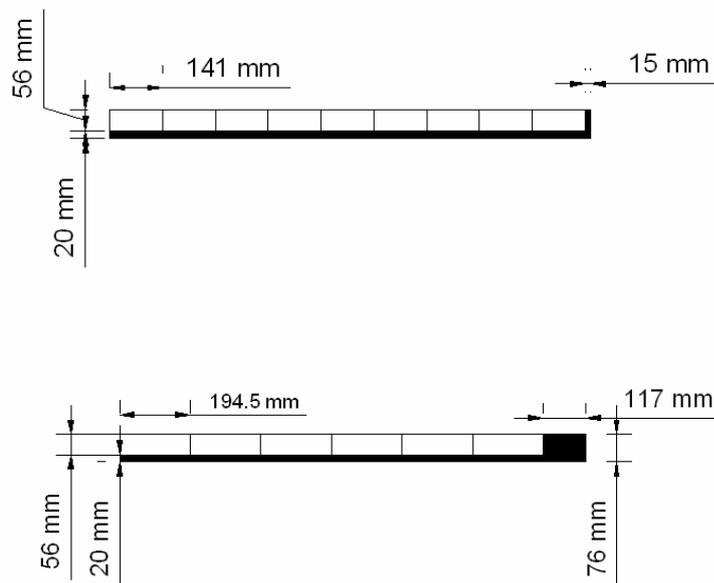


Figura 2.9. Desarrollos SDSA31735 y SDSA31736, ubicados en los recortes obtenidos en la Figura 2.7

La Figura 2.9 muestra las dos formas en que se pueden reutilizar los recortes provenientes de la Figura 2.7. Habiendo estudiado las cantidades de chapas que se cortarán de esa manera (necesidades de producción) se establece una cantidad de recorte. De 1256 chapas que se utilizan anualmente para producir los termotanques de alta recuperación, alrededor de 192 chapas son reutilizadas para desarrollos de 194,5 x 56 mm y 314 para desarrollos de 141 x 56 mm. Por lo tanto todavía estarían sobrando 1012 recortes (provenientes de las 506 chapas restantes) que se acumulan con los del año anterior.

La Figura 2.10 que se muestra al continuación del texto representa las dos formas de aprovechamiento del recorte de 1284 x 284 mm producido por la chapa de la Figura 2.6. Se pueden cortar desarrollos de 455 x 180 mm, o bien desarrollos de 1000 x 174,8 mm. La principal diferencia con el caso anterior, es que aquí la cantidad de recortes es menor a la necesaria para satisfacer la cantidad de piezas que se requieren. Es por esto que será necesario cortar estos desarrollos (los que no lleguen a satisfacerse con la reutilización de los recortes) de chapas enteras. Las diferentes opciones de corte serán planteadas a continuación y serán analizadas en el capítulo dedicado a programación lineal.

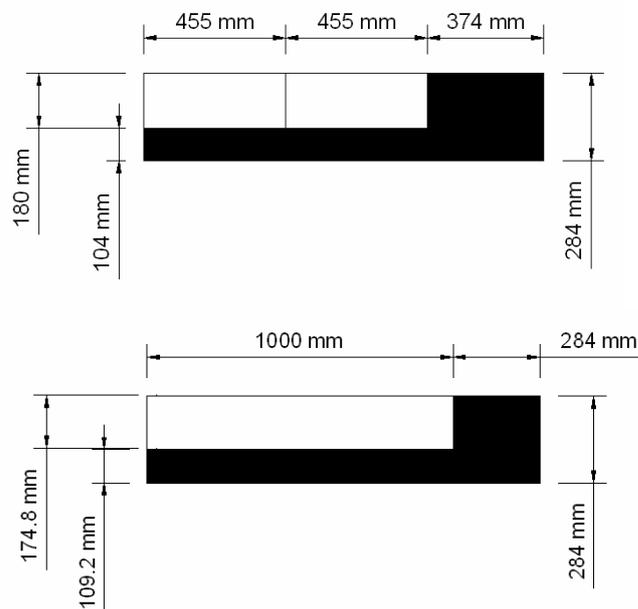


Figura 2.10. Configuraciones A (la de arriba) y B (la de abajo)

Antes se propone el siguiente cuadro con los datos de los recortes reutilizados en las configuraciones de cortes A y B:

Configuración	Scrap (cm ²)	Cant. L	Cant. C	Cortes	Cambio de Medida
A	2008,56	0	2	4	2
B	1898,56	1	0	2	2

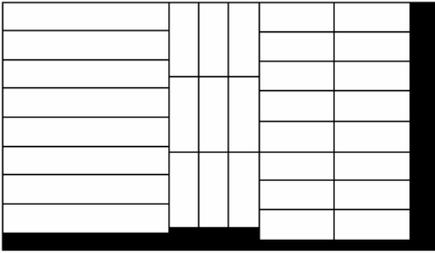
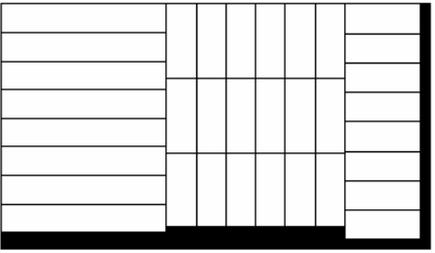
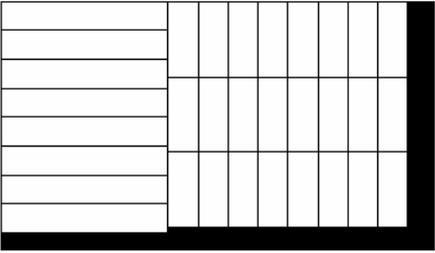
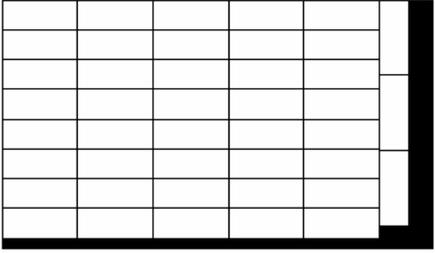
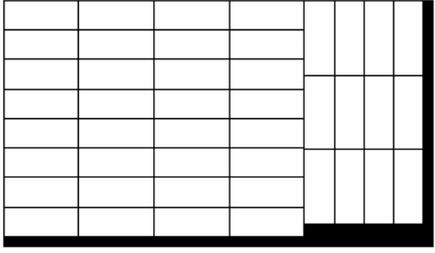
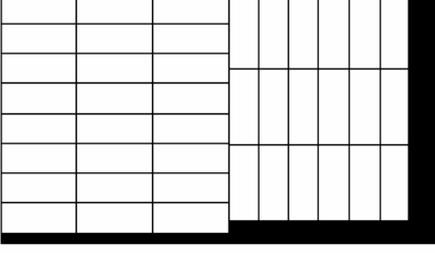
Tabla 2.9. Cuadro de Configuraciones de corte a partir de recortes

Optimización de Chapa y Metodología de Trabajo

Se presentan en el siguiente cuadro las diferentes opciones de corte a partir de chapa entera, el scrap generado, la cantidad de desarrollos denominados L, por ser los más largos (1000 x 174,8mm) y los denominados C, por ser los más cortos (455 x 180), la cantidad de cortes de guillotina y, finalmente, la cantidad de cambios de medida por lote de corte.

Nº	Configuración	Scrap (cm2)	Cant. L	Cant. C	Cortes	Cambio de Medida
1		3331	19	3	26	4
2		3661	16	9	30	4
3		4480	16	8	27	4
4		2903	8	27	40	4

Optimización de Chapa y Metodología de Trabajo

5		4541	8	25	37	5
6		3722	8	26	37	5
7		5360	8	24	35	5
8		3783	0	43	49	2
9		2964	0	44	51	2
10		4533.75	0	42	48	2

11		3783	0	43	48	2
12		5421	0	41	45	2
13		4602	0	42	56/49/4 8	2/3/3

Tabla 2.10. Cuadro de Configuraciones a partir de chapa entera

Para un primer descarte de configuraciones se comparará, para igual cantidad de desarrollos del mismo tipo, el scrap generado y se elegirá el menor.

Primera comparación: Configuración N° 1. Este es el único caso que no tiene comparación, ya que es el único de donde surgen 19 desarrollos de “L” y 3 desarrollos de “C”.

Segunda comparación: Configuraciones N° 2 y 3. A igual cantidad de desarrollos “L”, la N° 2 logra un desarrollo más de los “C” y genera menor cantidad de scrap. Entonces la N° 3 queda descartada.

Tercera comparación: Configuraciones N° 4, 5, 6 y 7. A igual cantidad de desarrollos “L” y logrando la N° 4 más desarrollos que las demás de los “C”, genera menor cantidad de scrap. Entonces las N° 5, 6 y 7 quedan descartadas.

Cuarta comparación: Configuraciones N° 8, 9, 10, 11, 12 y 13. Ninguna provee desarrollos “L”. Logrando la N° 9 más desarrollos que las demás de los “C”, genera menor cantidad de scrap. Entonces las N° 8, 10, 11, 12 y 13 quedan descartadas.

Entonces deberán compararse las configuraciones N° 1, 2, 4 y 9.

En principio, la decisión de la ubicación de cada una de las tres envolventes dentro de la chapa se tomó considerando sólo dos factores: el mejor

aprovechamiento de materia prima y la factibilidad de ser cortado por una guillotina (descritos en el primer capítulo como “corte guillotina” y dispuestos en chapa con un “patrón guillotina”). También se deberá estudiar si existen otros factores que determinen la ubicación. En el próximo capítulo se verá si el factor “sentido de laminación” introduce alguna modificación a las configuraciones expuestas anteriormente.

2.4. FACTIBILIDAD EN FUNCIÓN DEL SENTIDO DE LAMINACIÓN

Se parte de la base de que los patrones propuestos son guillotinales, por lo que la factibilidad desde el punto de vista de la herramienta de corte ya está dada. Lo que sí se evaluará en este capítulo es la factibilidad de la ubicación respecto del sentido de laminación de la chapa.

Las envolventes de los termotanques serán, en un proceso posterior al corte en guillotinas, cilindradas, por lo que se estudiará la incidencia en este proceso del sentido de laminación.

En las hojas de metal laminadas, la pérdida de ductilidad perpendicular a la dirección del laminado (pero en el plano de la hoja), pueden causar que las operaciones secundarias de doblado o estirado sean difíciles (a veces, imposibles) o generen mayor scrap de piezas elaboradas o semielaboradas.

Para algunos productos, la dificultad puede vencerse con la adecuada colocación de la forma con respecto a la dirección del laminado, inclusive la parte puede orientarse a 45° con respecto a la dirección del laminado.

Cuando los dobleces de la chapa son severos con radios mínimos y en el caso de embutido de la chapa, la única solución puede ser la recristalización de la chapa antes de la operación de conformado para restaurar la ductilidad perdida, no sólo debido a los efectos direccionales, sino también al trabajo en frío realizado en el proceso de laminado de la chapa.

Se puede plegar y conformar en frío siempre que se tenga en cuenta que el eje del plegado debe ser perpendicular al sentido de la laminación y que el radio de doblado deberá ser, como mínimo, seis veces el grueso de la chapa. Para el curvado, el diámetro mínimo ha de ser 60 veces el espesor de la chapa.

Como puede observarse en las Figuras E, F y G, el sentido de laminación coincide con lo que será el perímetro del cilindro del termotanque. Entonces, se comprueba que el eje de plegado es perpendicular al sentido de laminación.

Por otro lado, el radio del termotanque es $R = 204,35$ mm y 60 veces el espesor es $60 \times e = 96$ mm. Entonces, también se comprueba que el radio es superior a 60 veces el espesor.

Conclusión. El efecto del sentido de laminación no interfiere con la disposición elegida para los desarrollos dentro de las chapas.

2.5. REVISIÓN DE MEDIDAS DE COMPRA DE MATERIA PRIMA

Los desarrollos de las chapas MCHA10000 y MCHA10013 se inscriben exactamente dentro de las mismas por lo que en principio, sin hacer un estudio sobre posibles cambios en las medidas de las matrices o directamente sobre el producto, no se pueden plantear cambios en su medida de compra.

En el caso de las chapas MCHA12650 y MCHA10975 se genera scrap. Las medidas de compra responden a un estándar fijado por EMEGE S.A. hace unos años, cuando compraban varios tamaños diferentes de la misma chapa. Dado que nunca se realizó un estudio de optimización de chapa, al estandarizar a una única medida se optó por números redondos. O sea, si la necesidad de un largo de chapa era de 2788 se compraba de 2800. Se aclara que la medida que se regula es el largo, ya que el ancho no se puede modificar. El ancho de una chapa está dado por el ancho del tren de laminación que poseen los proveedores. En este caso el proveedor es TerniumSiderar y no hay otro, por lo que el que decide las medidas de los anchos es la empresa proveedora.

Sí se puede comprar a cualquier ancho, pero eso implica que el proveedor sume otro proceso a su línea, el de corte a medida. Este es un servicio que encarecería el costo de la chapa.

Habiendo dejado en claro que el ancho no se puede modificar, vamos a centrarnos en la elección óptima del largo de compra. Para eso se tendrán en cuenta los gráficos mostrados anteriormente con los desarrollos dentro de chapas. También deberán tenerse en cuenta las tolerancias de entrega contempladas en las especificaciones técnicas de producto de TerniumSiderar (tolerancias en largo, ancho y escuadre o flecha).

2.5.1. Chapa MCHA12650

En el caso de la chapa MCHA12650, el largo de compra actual es de 1500 mm. Esta es una medida estándar que se utiliza también en otras chapas y no sólo para el largo, sino para el ancho. Pero, como se mostró en el gráfico de esta chapa, se genera un scrap de 60 x 1500 mm.

En principio, y antes de analizar los efectos de las tolerancias a ser tenidas en cuenta, vemos que la chapa que se necesita y que se puede comprar (sin modificar el ancho) sería de 1500 x 1440 mm.

Las tolerancias de entrega se encuentran en el Manual de Especificación Técnica de Producto Laminado en Caliente (para la chapa MCHA12650). La tolerancia en largo para una longitud de 300 a 1500 mm es de - 0; + 12 mm, entonces se puede solicitar la medida de 1440 mm de largo, ya que no hay tolerancia negativa y no van a llegar chapas de menor longitud; a lo sumo

llegarán de mayor longitud, incrementando así el scrap, la mano de obra, la cantidad de cortes de guillotina (que a su vez implica un mayor desgaste en la herramienta de corte), pero posibilitando obtener los nueve (9) desarrollos que se requieren de cada chapa.

La tolerancia en ancho (en las hojas que se entregan con bordes de laminación) para un ancho nominal mayor a 1200 mm es de - 0; + 32 mm. Aquí tampoco se generan complicaciones, ya que no sólo no se entregaría menos de lo que se necesita, sino que al no poder modificar el ancho de compra, se estarían comprando 60 mm más de los necesarios para lograr los nueve (9) desarrollos requeridos por chapa. En el manual no se hace referencia a posibles tolerancias en temas de escuadre o flecha máxima de la chapa, por lo que no será considerado para el estudio.

2.5.2. Chapa MCHA10975

En el caso de la chapa MCHA10975, el largo de compra actual es de 2600 mm y el ancho es de 1500mm. Buscamos las tolerancias de entrega en el Manual de Especificación Técnica de Producto de Laminado en Frío. Para hojas, la tolerancia en largo para una longitud de 2001 a 6000 mm es de - 0; + 8 mm y la tolerancia en ancho con bordes de laminación es de - 0; + 6 mm. Aquí nuevamente se comprueban tolerancias negativas nulas, por lo que siempre estarán llegando, como mínimo, las medidas solicitadas. Además de las tolerancias mencionadas, para los productos laminados en frío se introduce otra tolerancia: “fuera de escuadra”, que se calcula como la semidiferencia entre las longitudes de las diagonales de la hoja⁵. Esta tolerancia es de 6 mm cada 1000 mm de ancho. Dado que en este caso el ancho es de 1500 mm, la semidiferencia de diagonales es de 9 mm ($D1 - D2 = 9$ mm). Para analizar los efectos de esta restricción se estudiarán los dos casos extremos: que toda la diferencia se aplique al ancho o que toda la diferencia se aplique al largo.

A continuación se presenta gráficamente el caso de que la diferencia de diagonales se aplique solamente al ancho. En este caso, como se vió en la Figura G, la medida máxima que puede tomar “x” es de 18 mm, para que puedan entrar los seis (6) desarrollos previstos en los 1478 mm restantes.

⁵ Según norma de referencia IRAM-IAS U 500-05 2004

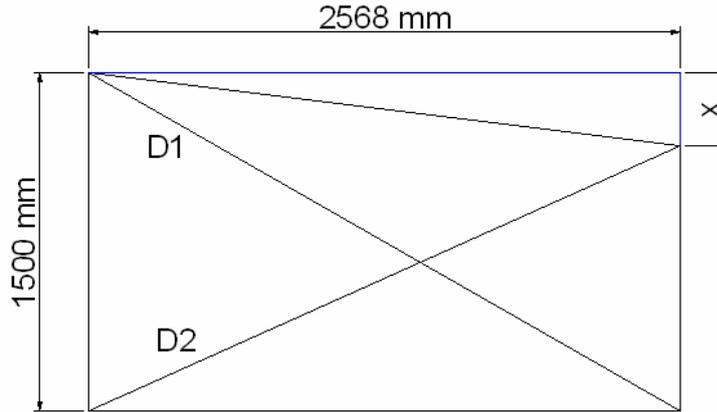


Figura 2.11. Fuera de escuadra aplicado al ancho en su totalidad

Para verificar esta restricción se calcula el valor de “x” mediante el Teorema de Pitágoras⁶:

$$D1 - D2 = 9 \quad (1)$$

$$D1 = \sqrt{1500^2 + 2568^2} \quad (2)$$

$$D2 = \sqrt{(1500 - x)^2 + 2568^2} \quad (3)$$

Reemplazando (2) y (3) en (1) y despejando x, se obtiene:

$$x = 17,92mm < 18mm$$

Como se cumple con la condición de no superar los 18 mm, en principio el fuera de escuadra aplicado íntegramente al ancho no genera problemas en la posibilidad del cambio de medidas de compra.

Ahora se presenta el caso contrario, que la diferencia se aplique sólo al largo:

En este caso partimos del conocimiento de la diagonal D2 y de la longitud mínima que se requiere, que es 2568 mm. A partir de estos datos se deberá determinar la longitud de compra “L” que asegura ese largo mínimo. Se aplica la misma metodología:

⁶ El cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de los catetos.

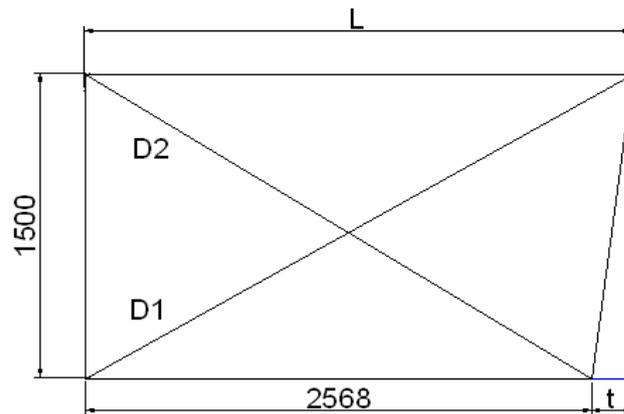


Figura 2.12. Fuera de escuadra aplicado al largo en su totalidad

$$D1 - D2 = 9 \quad (1)$$

$$D2 = \sqrt{1500^2 + 2568^2} \quad (2)$$

$$D1 = \sqrt{1500^2 + L^2} \quad (3)$$

Reemplazando (2) y (3) en (1) y despejando L, se obtiene:

$$L = 2578,42\text{mm} \cong 2579\text{mm}$$

Por lo tanto la longitud de compra deberá modificarse de 2600 mm a 2579 mm. Este cambio generará un ahorro monetario que será analizado más adelante en este estudio.

SECCIÓN 3. ESTUDIO DE TIEMPOS Y COSTOS.

3.1. TIEMPO DE CICLO EN GUILLOTINAS

El estudio de tiempos se define como el proceso de determinar el tiempo que requiere un operador hábil y bien capacitado que trabaja a ritmo normal para realizar una tarea específica. Si varía alguna de estas tres condiciones, el estándar de tiempo deberá cambiar [Meyers & Stephens, 2006].

Se propone, a continuación, un procedimiento reducido a 10 pasos¹ secuenciales. Servirán de guía para llevar a cabo el establecimiento del tiempo de ciclo (o tiempo por corte):

- Paso 1) Seleccionar el trabajo a estudiar
- Paso 2) Recabar información acerca del trabajo
- Paso 3) Dividir el trabajo en elementos
- Paso 4) Hacer el estudio de tiempos reales
- Paso 5) Determinar el número de ciclos por cronometrar
- Paso 6) Extender el estudio de tiempos
- Paso 7) Calificar, nivelar y normalizar el rendimiento del operador
- Paso 8) Aplicar tolerancias
- Paso 9) Verificar la lógica
- Paso 10) Publicar el estándar de tiempo

Paso 1) Seleccionar el trabajo a estudiar

El trabajo a estudiar es el corte de chapa, llevado a cabo en el puesto de guillotinas. Particularmente se estudiará el correspondiente al de la chapa de 1,60 mm (MCHA10975). La elección de este trabajo se debe a la necesidad de establecer el costo de la mano de obra que se le imputará a cada corte.

Paso 2) Recabar información acerca del trabajo

El sector de guillotinas cuenta con 10 máquinas. La guillotina donde se realizará el estudio es la N° 003. Está preparada para cortar chapas de hasta 1700 mm de ancho y espesores de 1,60 a 3,20 mm. La dotación asignada es de 3 operarios.

La chapa es ingresada manualmente desde el bancal de entrada hacia el bancal de trabajo. Un operario arrastra la chapa entera para cargarla en la máquina desde un bancal de entrada. Pasa por debajo del arco que sostiene a la cuchilla. Del otro lado, dos operarios aseguran la posición haciendo coincidir la chapa con los topes.. Uno de estos operarios pisa un pedal, dando así la

¹ Extraído del libro de Meyers y Stephens. "Diseño de Instalaciones y Manufactura" 3ra Edición, Ed. Pearson Prentice may. 2006.

orden a la máquina de que baje la cuchilla y se produzca el corte. Antes de bajar la cuchilla bajan los presionadores, que mantendrán a la chapa inmóvil al momento de realizar el corte. La cuchilla sube. Los operarios retiran la parte cortada y la apilan sobre un palet mientras que, desde el otro lado, el otro operario arrastra nuevamente la chapa restante por debajo del arco que contiene a la cuchilla. El procedimiento se repite hasta que se agota la chapa. Vuelve a comenzar con una chapa nueva.

El último corte que se produce genera dos partes: una, la sacan los operarios y la apilan en el palet; la otra cae en el piso de la guillotina y se va acumulando. Cuando la altura de apilamiento de estos últimos cortes alcanza al bancal de la máquina, debe retirarse la pila manualmente, de a una chapa por vez.

Paso 3) Dividir el trabajo en elementos

Sabiendo el costo asociado a la mano de obra para un corte, se podrá evaluar la elección de la configuración de corte que, además de tener en cuenta el costo de la materia prima y materiales, implique menor costo de mano de obra.

Para ello se necesita conocer el tiempo de ciclo total asignable a cada corte. Entonces, se medirá el tiempo entre cortes, o sea, entre golpe² y golpe de guillotina. La operación no será dividida en los distintos elementos que la componen, salteándose así el paso 3).

Paso 4) Hacer el estudio de tiempos reales

El día 14 de Junio de 2008 fueron llevadas a cabo las mediciones de tiempos. Se diseñó una hoja de toma de datos³ con la siguiente información:

- Día
- Sector
- N° Guillotina
- Chapa que se corta
- Desarrollo que se corta
- N° muestra
- Tiempo entre cortes
- Observaciones

Se utilizó un cronómetro CASIO HS 1000, 1/1000 segundos. Los tiempos fueron tomados con el modo LAP, que toma los intervalos de tiempo desde que

² Se denomina de esta manera al momento en que la cuchilla cae sobre la chapa de acero apoyada en el bancal de trabajo, cortándola.

³ Se encuentra el modelo en el anexo.

se oprime el botón de start/lap hasta que vuelve a oprimirse. La unidad utilizada es el segundo decimal.

Se comenzó tomando un tamaño de muestra piloto de 62 mediciones. Se eliminaron los datos que no forman parte del ciclo. Tal es el caso de la muestra N° 9, en la que el operario fue interrumpido por la cronometrista mientras realizaba un control dimensional y ajuste de topes. Las planillas con los datos recabados se pueden encontrar en el Anexo.

Luego de remover los datos N° 6, 9, 10 y 61 se obtienen los siguientes resultados:

- Tamaño de Muestra = 58 datos
- Media = 10,97 segundos decimales
- Desvío Estándar = 1,12 segundos decimales

Paso 5) Determinar el número de ciclos por cronometrar

Para calcular el número de ciclos a cronometrar, se debe partir de una muestra piloto; en este caso es de 62 observaciones.

La fórmula⁴ que se utiliza para calcular el tamaño necesario de muestra para un nivel de confianza del 95,45 % y un margen de error de ± 5 % es:

$$n = \frac{1600 * [n' \sum x^2 - (\sum x)^2]}{(\sum x)^2}$$

Siendo:

n = tamaño de la muestra que deseamos determinar;

n' = número de observaciones del estudio preliminar;

Σ = suma de los valores;

x = valor de las observaciones.

Considerando como número de observaciones del estudio preliminar las 58 mediciones que quedaron luego de la eliminación inicial, el tamaño de muestra requerido es de 17 observaciones. Entonces, no es necesario realizar más toma de datos.

Paso 6) Extender el estudio de tiempos

⁴ La explicación de la derivación de esta fórmula cae fuera del marco de este trabajo. Véase Raymond Mayer: *Production and operations management* (Nueva York y Londres, McGraw-Hill, tercera edición, 1975), págs. 516-517.

Como se explicó anteriormente, dado que el tamaño muestral requerido ya fue alcanzado en la primer etapa, no es necesario extender el estudio.

Paso 7) Calificar, nivelar y normalizar el rendimiento del operador

El ritmo de trabajo es 100, o sea, representa un desempeño tipo. El desempeño tipo se describe de la siguiente manera⁵: “Activo, capaz, como de obrero calificado medio, pagado a destajo; logra con tranquilidad el nivel de calidad y precisión fijado”.

Dado que:

- $Tiempo\ Básico = Tiempo\ Observado \times (Valor\ del\ ritmo\ observado/100)$
- $Valor\ del\ ritmo\ observado = 100$

Entonces, el tiempo básico coincide con el tiempo observado.

Los operarios cuentan con tres descansos a lo largo de la jornada. Dos de ellos son de 10 minutos, uno por la mañana y el otro por la tarde. El tercer descanso es de 30 minutos al mediodía, cuando el operario almuerza.

Los suplementos por descanso pueden traducirse en verdaderas pausas. Los suplementos por descanso tienen dos componentes principales: fijos y variables. Los componentes fijos pueden dividirse en: suplemento por necesidades personales (oscila entre el 5 y el 7% del tiempo básico) y suplemento por fatiga básica (4% del tiempo básico). Debido a que los operarios ya tienen asignado un descanso, no se considerarán suplementos por descanso. Se demuestra considerando el caso de máximo suplemento (11%):

- $Suplemento = Tiempo\ Básico \times 0,11 = 10,97 \times 0,11 = 1,21\ seg$

Suponiendo 280 ciclos por día (dato tomado del sector de guillotinas):

- $Suplemento \times 280 = 1,21 \times 280 = 337,88\ seg/día = 5,63\ min/día$
- *De suplemento se requieren aproximadamente 6 minutos de descanso, y son provistos 20 minutos de descanso.*

Ambos (fijo y variable) quedan incorporados al descanso real.

Los suplementos variables se añaden cuando las condiciones de trabajo difieren mucho de las indicadas, por ejemplo, cuando las condiciones ambientales son malas y no se pueden mejorar, cuando aumentan el esfuerzo y la tensión para ejecutar determinada tarea, etc.

⁵ OIT. Introducción al Estudio del Trabajo. Organización Internacional del Trabajo. Tercera Edición (Revisada), Ginebra, 1980. ISBN 92-2-301939-7

Existen otros tipos de suplementos⁶ pero, con fines de simplificar el estudio, no se tendrán en cuenta para realizar la comparación entre las distintas configuraciones de corte.

Paso 8) Aplicar tolerancias

El desvío estándar de la muestra es 1,12 segundos decimales. Ésta será, entonces, la tolerancia aplicada al tiempo medio obtenido.

Paso 9) Verificar la lógica

La prioridad está puesta en hallar un parámetro para comparar las distintas configuraciones, en función de su costo asociado. Una parte del costo es la relacionada con la mano de obra, que surge del tiempo asignado a cada corte multiplicado por el costo de la hora hombre (HH). Para ello es necesario conocer el tiempo que se tarda en realizar un golpe de guillotina. Es por eso que se simplifica el estudio y no se consideran todos los tipos de suplementos.

Paso 10) Publicar el estándar de tiempo

El tiempo de ciclo de corte de guillotina es de **10,97 ± 1,12 seg decimales**.

⁶ Suplementos: por comienzo, por cierre, por limpieza, por herramienta, por montaje, por desmontaje, por rechazo, por aprendizaje, por formación, por implantación, etc.

3.2. JUSTIFICACIÓN FINANCIERA DE LA PROPUESTA

La justificación consta de dos partes: una corresponde al cambio de medidas propuesto para la compra de materia prima; la otra, a la elección de las configuraciones de corte que generen menores pérdidas.

3.2.1. Cambio de medida propuesto para la compra de chapas

3.2.1.1. Chapa: MCHA12650

Las medidas actuales de la chapa MCHA12650 son 1500 x 1500 mm. A partir de la revisión en las medidas de compra y su factibilidad técnica (ver capítulo 2), se propone que la medida de compra sea 1440 x 1500 mm.

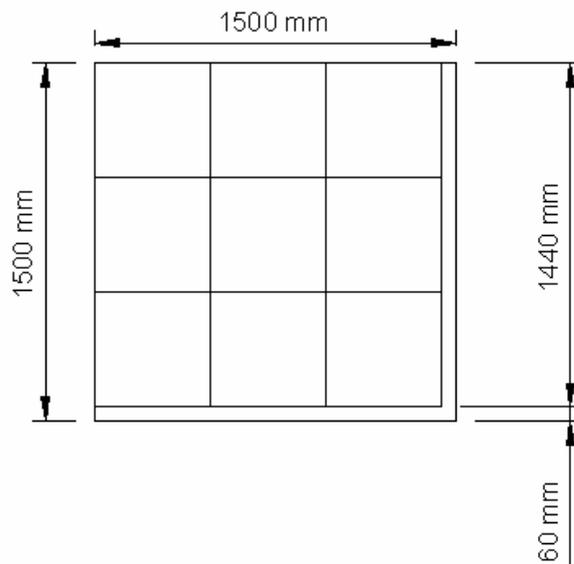


Figura 3.1. Chapa MCHA12650

Estos son los datos de las compras de chapa recibidas en febrero 2008:

Peso Total		Cantidad	Volumen Unitario	Peso Especifico
Ton	Kg	un	m3 / un	Kg / m3
9,192	9.192	165	0,0072	7.737,37

Tabla 3.1. Datos de compras de Febrero 2008 de la chapa MCHA12650

Optimización de Chapa y Metodología de Trabajo

El volumen de la chapa disminuye:

Volumen de chapa Actual	0,0072 m ³
Volumen de chapa Propuesto	0,0069 m ³

Tabla 3.2. Volumen de una chapa con el largo de compra actual y con el largo propuesto

Teniendo los volúmenes y multiplicándolos por el peso específico, puede calcularse el peso actual y el propuesto por chapa:

Peso de chapa Actual	55,71 Kg
Peso de chapa Propuesto	53,48 Kg

Tabla 3.3. Peso de las chapas, calculado como la multiplicación del volumen por el peso específico

El precio actual de la chapa es de 722,91 U\$/Ton, entonces:

Importe por chapa Actual	40,27 U\$
Importe por chapa Propuesta	38,66 U\$
Ahorro por Chapa	1,61 U\$

Tabla 3.4. Ahorro de chapa en \$, por cambio en el largo de compra

Puesto que en una chapa caben 9 desarrollos de tapas y cada termotanque requiere dos tapas, cada chapa está destinada a 4,5 termotanques. Entonces, para calcular el ahorro por termotanque se divide el ahorro por chapa (1,61 U\$) por 4,5. Esto da como resultado un ahorro de 0,36 U\$/termotanque.

Se presenta a continuación una tabla con la producción de termotanques del ejercicio 2007-2008. Los datos son reales, salvo los meses de Junio y Julio, que son valores estimados⁷. Se consideró un promedio de 3,18 \$/U\$ para el período analizado.

⁷ Sólo se cuentan con los datos hasta el mes de Mayo al momento de realizar el estudio.

Mes	Año	Volumen de Producción Mensual	Ahorro mensual		Acumulado	
			un	u\$s	\$	u\$s
Agosto	2007	1.029	368,26	1.171,06	368,26	1.171,06
Septiembre	2007	877	313,92	998,27	682,18	2.169,33
Octubre	2007	908	325,16	1.034,01	1.007,34	3.203,34
Noviembre	2007	720	257,57	819,06	1.264,91	4.022,41
Diciembre	2007	398	142,57	453,36	1.407,47	4.475,76
Enero	2008	635	227,46	723,33	1.634,94	5.199,10
Febrero	2008	723	258,77	822,90	1.893,71	6.021,99
Marzo	2008	926	331,48	1.054,09	2.225,18	7.076,09
Abril	2008	1.183	423,55	1.346,89	2.648,73	8.422,97
Mayo	2008	1.212	433,86	1.379,67	3.082,59	9.802,64
Junio	2008	1.226	439,03	1.396,10	3.521,62	11.198,74
Julio	2008	755	270,27	859,45	3.791,89	12.058,20
					Acumulado Anual	

Tabla 3.5. Ahorros mensuales y acumulados para la chapa MCHA12650

Por lo tanto, durante el ejercicio pasado, se podrían haber ahorrado aproximadamente **\$ 12.058**. Esto es sin considerar variaciones en el precio o en el espesor real de chapa.

Con respecto al precio, el mismo tiene una tendencia creciente de un 30% anual. Congelando el precio actual estamos considerando el escenario donde las pérdidas son mínimas.

Por otro lado, la tolerancia en espesor es de $\pm 0,20 \text{ mm}^8$. Los efectos de las variaciones en el espesor son:

- Si el espesor real es menor al teórico (3,2 mm):

La chapa es más fina que la pedida, por lo que a igual cantidad de peso, se obtendrán más chapas, y así aumentará el rendimiento. O sea, se obtendrán más desarrollos a partir de una tonelada de chapa que lo que fija el estándar.

- Si el espesor real es mayor al teórico (3,2 mm):

La chapa es más gruesa que la pedida, por lo que a igual cantidad de peso, se obtendrán menos chapas, y así disminuirá el rendimiento. O sea, se obtendrán menos desarrollos a partir de una tonelada de chapa que lo que fija el estándar.

⁸ Según Especificación de Producto Laminado en Caliente. IRAM-IAS U500-04.

No se consideran dentro del estudio, ya que no se cuenta con información acerca de los espesores reales históricos de la chapa.

3.2.1.2. Chapa: MCHA10975

Las medidas actuales de la chapa MCHA10975 son 1500 x 2600 mm. A partir de la revisión en las medidas de compra y su factibilidad técnica (ver capítulo 2), se propone que la medida de compra sea 1500 x 2579 mm.

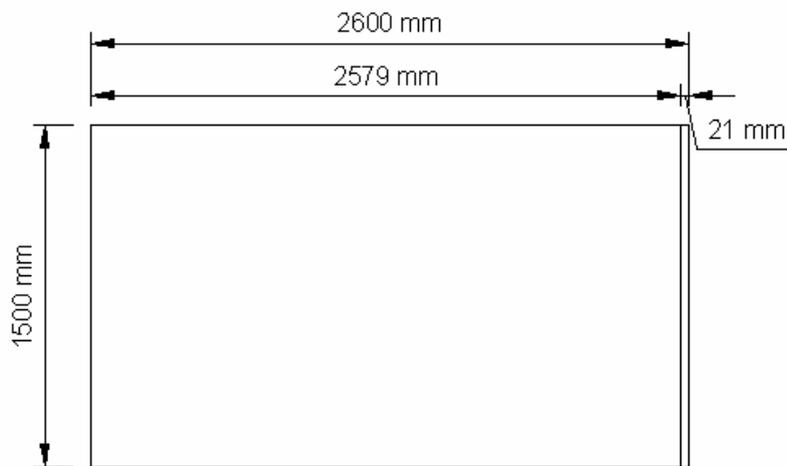


Figura 3.2. Chapa MCHA10975

Estos son los datos de las compras de chapa recibidas en febrero 2008:

Peso Total		Cantidad	Volumen Unitario	Peso Especifico
Ton	Kg	un	m3 / un	Kg / m3
14,605	14.605	290	0,0062	8.070,84

Tabla 3.6. Datos de compras de Febrero 2008 de la chapa MCHA10975

El volumen de la chapa disminuye:

Volumen de chapa Actual	0,00624 m ³
Volumen de chapa Propuesto	0,00619 m ³

Tabla 3.7. Volumen de una chapa con el largo de compra actual y con el largo propuesto

Teniendo los volúmenes y multiplicándolos por el peso específico, puede calcularse el peso actual y propuesto por chapa:

Peso de chapa Actual	50,36 Kg
Peso de chapa Propuesto	49,96 Kg

Tabla 3.8. Peso de las chapas, calculado como la multiplicación del volumen por el peso específico

El precio actual de la chapa es de 810,95 U\$/Ton, entonces:

Importe por chapa Actual	40,84 U\$
Importe por chapa Propuesta	40,51 U\$
Ahorro por Chapa	0,33 U\$

Tabla 3.9. Ahorro de chapa en \$, por cambio en el largo de compra

Puesto que en una chapa pueden caber 2, 4 ó 6 desarrollos de envolventes y cada termotanque requiere una envolvente, cada chapa está destinada a 2, 4 o 6 termotanques. Entonces, para calcular el ahorro por termotanque se divide el ahorro por chapa (0,33 U\$) por 2, 4 ó 6, dependiendo del modelo de termotanque. Esto da como resultado un ahorro de:

Modelo	Ahorro
TTEAR003/006	0,165 U\$\$/termotanque
TTEAR002/005	0,082 U\$\$/termotanque
TTEAR001/004	0,055 U\$\$/termotanque

Tabla 3.10. Ahorro por termotanque por cambio de medida en chapa MCHA10975

Se presenta a continuación una tabla con el resumen mensual del ahorro por modelo de termotanque del ejercicio 2007-2008. Los datos son reales, salvo los meses de Junio y Julio, que son valores estimados⁹. Se consideró un promedio de 3,18 \$/U\$\$ para el período analizado.

Las tablas completas por modelo de termotanque podrán consultarse en el Anexo.

Mes	Año	Acumulado	
		u\$s	\$
Agosto	2007	100,99	321,15
Septiembre	2007	187,06	594,85
Octubre	2007	276,21	878,36
Noviembre	2007	346,82	1.102,89
Diciembre	2007	385,88	1.227,09
Enero	2008	448,22	1.425,35
Febrero	2008	519,16	1.650,94
Marzo	2008	610,07	1.940,02
Abril	2008	726,20	2.309,33
Mayo	2008	845,16	2.687,61
Junio	2008	965,56	3.070,47
Julio	2008	1.039,64	3.306,05
		Acumulado Anual	

Tabla 3.11. Ahorros mensuales y acumulados para la chapa MCHA10975

Por lo tanto, durante el ejercicio pasado, se podrían haber ahorrado aproximadamente **\$ 3.306**. Esto es sin considerar variaciones en el precio o en el espesor real de chapa.

Con respecto al precio, el mismo tiene una tendencia creciente de un 30% anual. Congelando el precio actual estamos considerando el escenario donde las pérdidas son mínimas.

⁹ Sólo se cuentan con los datos hasta el mes de Mayo al momento de realizar el estudio.

Por otro lado, la tolerancia en espesor es de $\pm 0,11 \text{ mm}^{10}$. Los efectos de las variaciones en el espesor son:

- Si el espesor real es menor al teórico (1,6 mm):

La chapa es más fina que la pedida, por lo que a igual cantidad de peso, se obtendrán más chapas, y así aumentará el rendimiento. O sea, se obtendrán más desarrollos a partir de una tonelada de chapa que lo que fija el estándar.

- Si el espesor real es mayor al teórico (1,6 mm):

La chapa es más gruesa que la pedida, por lo que a igual cantidad de peso, se obtendrán menos chapas, y así disminuirá el rendimiento. O sea, se obtendrán menos desarrollos a partir de una tonelada de chapa que lo que fija el estándar.

Tampoco se consideran dentro del estudio, ya que no se cuenta con información acerca de los espesores reales históricos de la chapa.

3.2.2. Ahorro que se logra de scrap, MO y herramental

Para minimizar el impacto de estos tres ítems (scrap, mano de obra y herramental) se utilizó la programación lineal como procedimiento de optimización.

Entonces, sabemos que, para las condiciones dadas, se obtendrán los resultados óptimos. Y, por lo tanto, los que generan menores pérdidas financieras.

¹⁰ Según Especificación de Producto Laminado en Frío. IRAM U 500-05 2004.

3.3. COSTO DE MATERIA PRIMA, MANO DE OBRA Y HERRAMENTAL

3.3.1. Materia Prima

El valor de la chapa de espesor 1,6 mm es de 810,95 U\$\$/Ton. Teniendo en cuenta que el volumen teórico de la chapa es 6189,6 cm³ y que el peso específico de la chapa es 0,008067 Kg/cm³:

$$PesoTeorico(kg / chapa) = 6189,6 \frac{cm^3}{chapa} \times 0,008067 \frac{kg}{cm^3} = 49,93 \frac{kg}{chapa}$$

$$PesoTeorico(ton / chapa) = \frac{49,93 \frac{kg}{chapa}}{1000 \frac{kg}{ton}} = 0,04993 \frac{ton}{chapa}$$

$$Precio(U\$ / chapa) = 0,04993 \frac{ton}{chapa} \times 810,95 \frac{U\$}{ton} = 40,49 \frac{U\$}{chapa}$$

Para poder valorizar el scrap se considerará el precio por área:

$$Precio(U\$ / cm^2) = \frac{40,49 \frac{U\$}{chapa}}{38685 \frac{cm^2}{chapa}} = 0,001047 \frac{U\$}{cm^2}$$

Se utiliza un cambio de 3,18 \$/U\$\$, ya que es la tasa cambiaria promedio del período estudiado (Agosto 2007 - Julio 2008).

$$Precio(\$ / cm^2) = 0,001047 \frac{U\$}{cm^2} \times 3,18 \frac{\$}{U\$} = 0,00333 \frac{\$}{cm^2}$$

3.3.2. Mano de Obra

El valor de la mano de obra se consultó al Departamento de Personal de la Empresa; estos son los datos obtenidos:

$$Sueldo \text{ Básico} = 8,77 \$/HH$$

$$Sueldo \text{ Sin Cargas} = 14,71 \$/HH$$

$$Sueldo \text{ Con Cargas} = \mathbf{18 \$/HH}$$

Para el estudio se utilizará el Sueldo con las cargas sociales, ya que es lo que le cuesta a la Empresa una hora del operario.

3.3.3. Herramental

Se entiende por herramental a la cuchilla de la guillotina. La cuchilla debe ser afilada cada 6 meses aproximadamente. El costo de la afilación es de \$ 400.

El dato que se necesita, para comparar las configuraciones de corte, es el costo de la afilación prorrateado por corte. De esta manera, la configuración que tenga mayor cantidad de cortes tendrá asociado un mayor costo de herramental.

Según datos obtenidos del puesto de guillotinas, cada 6 meses se realizan alrededor de 35280 cortes, entonces:

$$\text{CostoHerramental} = \left(\frac{400\$}{6\text{meses}} \right) \times \left(\frac{6\text{meses}}{35280\text{cortes}} \right) = 0,0113 \frac{\$}{\text{corte}}$$

.En el siguiente cuadro se resumen los valores obtenidos:

Precio chapa	Costo HH	Costo Herramienta Prorrateado
(\$/cm ²)	(\$/HH)	(\$/Corte)
0,00333	18	0,0113

Tabla 3.12. Costos asociados a la chapa MCHA10975

SECCIÓN 4. PROGRAMACIÓN LINEAL.

4.1. PROGRAMACIÓN LINEAL. SOLVER

4.1.1. Conceptos Básicos

➤ Investigación Operativa

La Investigación de Operaciones, o Investigación Operativa, es una rama de las Matemáticas consistente en el uso de modelos matemáticos, estadística y algoritmos con el objeto de realizar un proceso de toma de decisiones. Frecuentemente, trata el estudio de complejos sistemas reales, con la finalidad de mejorar (u optimizar) el funcionamiento del mismo. La investigación de operaciones permite el análisis de la toma de decisiones, teniendo en cuenta la escasez de recursos, para determinar cómo se pueden maximizar o minimizar los mismos.

➤ Programación Lineal

La programación lineal es un procedimiento o algoritmo matemático mediante el cual se resuelve un problema indeterminado, formulado a través de ecuaciones lineales, optimizando la función objetivo, también lineal.

La programación lineal consiste en optimizar (minimizar o maximizar) una función lineal, que denominaremos función objetivo, de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones que expresamos mediante un sistema de inecuaciones lineales.

Las variables son números reales mayores o iguales a cero. En caso que se requiera que el valor resultante de las variables sea un número entero, el procedimiento de resolución se denomina Programación Entera. Este es el tipo de programación que se utilizará para resolver la problemática que nos compete, ya que la solución será “cantidad de chapas” a cortar de determinada manera, y las chapas son una variable de tipo entera.

➤ Excel Solver

La opción Solver de EXCEL¹ sirve para resolver problemas de optimización lineal y no lineal; también se pueden indicar restricciones enteras sobre las variables de decisión. Con Solver es posible resolver problemas que tengan hasta 200 variables de decisión, 100 restricciones explícitas y 400 simples (cotas superior e inferior o restricciones enteras sobre las variables de

¹ Aplicación de hoja de cálculo de Microsoft.

decisión). En la Bibliografía se encuentra un link a un manual online, en archivo .pdf, que explica cómo utilizar la función Solver del Excel.

4.1.2. Descripción del Programa

➤ Variables

Las variables que se contemplarán son:

XA: cantidad de recortes de 1284 x 284 mm reutilizados para obtener C²

XB: cantidad de recortes de 1284 x 284 mm reutilizados para obtener L

X1: cantidad de chapas con configuración de corte N° 1

X2: cantidad de chapas con configuración de corte N° 2

X4: cantidad de chapas con configuración de corte N° 4

X9: cantidad de chapas con configuración de corte N° 9

➤ Restricciones

Las restricciones a considerar son:

XA, XB, X1, X2, X4, X9 ≥ 0 (todas las variables son positivas o cero)

XB + 19.X1 + 16.X2 + 8.X4 = cantidad requerida del desarrollo L

2.XA + 3.X1 + 9.X2 + 27.X4 + 44.X9 = cantidad requerida del desarrollo C

XA + XB = cantidad de desarrollos SDSA30021³

XA, XB, X1, X2, X4, X9: variables enteras.

➤ Función Objetivo

Lo que se busca con la función objetivo es minimizar la pérdida de dinero por parte de la empresa. Para eso, deberán tenerse en cuenta:

- Scrap producido por cada tipo de configuración transformado a \$
- HH⁴ utilizadas para realizar los cortes de guillotina transformadas a \$

² El desarrollo "C" es el de 455 x 180 mm, mientras que el "L" es el de 1000 x 174,8 mm.

³ El desarrollo SDSA30021 es de 1284 x 1216 mm, y genera recortes reutilizables de 1284 x 284 mm.

- Cantidad de herramienta⁵ de corte prorrateado por chapa transformado a \$.

La necesidad de llevar todo a la misma unidad (\$), es para poder combinar todos estos factores dentro de una misma función objetivo y minimizarla en su conjunto.

Entonces, la función objetivo es:

$$MIN = Coef_A \times XA + Coef_B \times XB + Coef_1 \times X1 + Coef_2 \times X2 + Coef_4 \times X4 + Coef_9 \times X9$$

Donde:

$$Coef_i = scrap_i + HH_i + herr_i$$

scrap_i = scrap (en \$) generado por la configuración i

HH_i = horas hombre (en \$) utilizadas por la configuración i

herr_i = herramienta (en \$) prorrateado por chapa para la configuración i

Los valores de esos parámetros pueden apreciarse en la siguiente tabla:

Config _i	Cantidad Cortes	scrap _i		HH _i		herr _i	Coef _i
		(cm ²)	(\$)	(seg/corte)	(\$)	(\$)	(\$)
A	4	2008,56	6,68	10,97	0,22	0,05	6,95
B	2	1898,56	6,32		0,11	0,02	6,45
1	26	3331,00	11,09		1,43	0,29	12,81
2	30	3661,00	12,18		1,65	0,34	14,17
4	40	2903,00	9,66		2,19	0,45	12,31
9	51	2964,00	9,86		2,80	0,58	13,24

Tabla 4.1. Parámetros valorizados y Coeficientes de cada configuración

⁴ Horas Hombre.

⁵ El herramienta de corte es la cuchilla afilada de la guillotina.

4.1.3. Programa en Solver

A partir de los parámetros fijados anteriormente, de las restricciones a las que son sometidas las variables y de la función objetivo que se pretende minimizar, se plantea el problema en una planilla de Excel donde se aplicará la herramienta Solver. La misma se muestra a continuación:

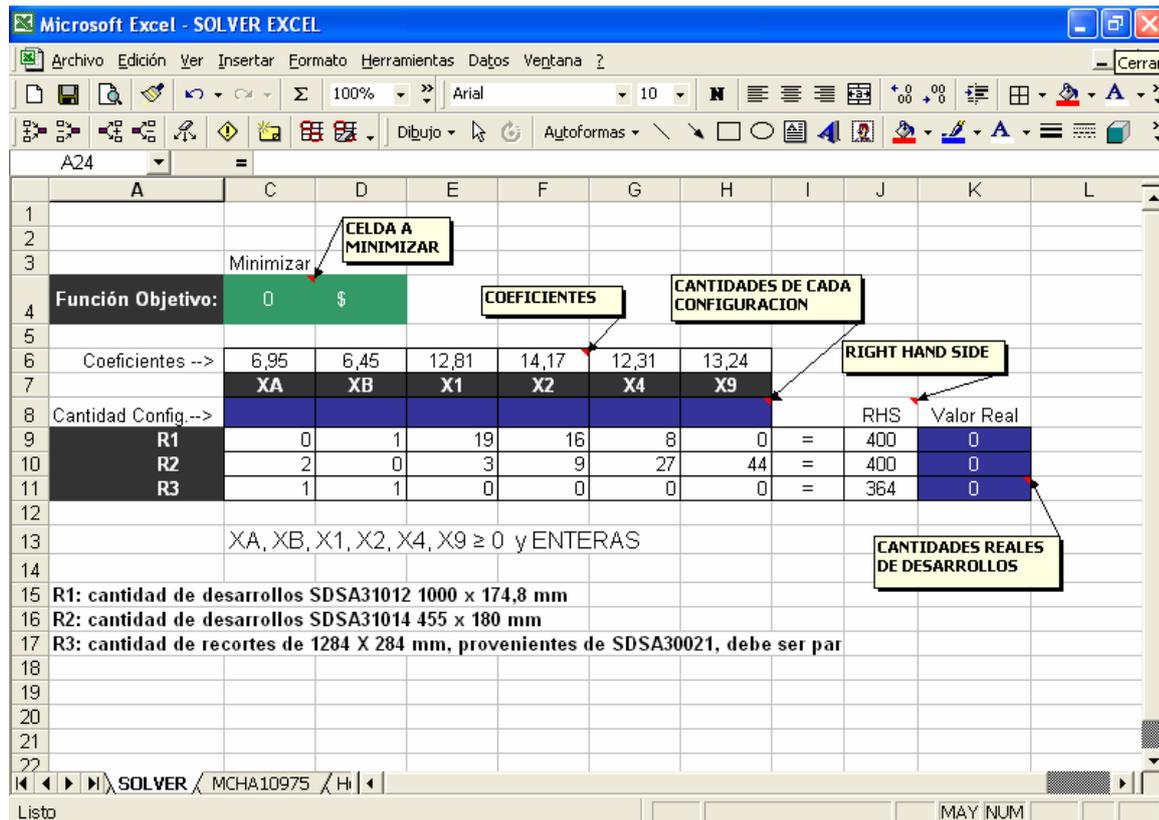


Figura 4.1. Planilla excel donde se generó el modelo

Para acceder a **Solver**, se selecciona **Herramientas** en el menú principal y luego **Solver**. La ventana que se abre, **Parámetros de Solver**.

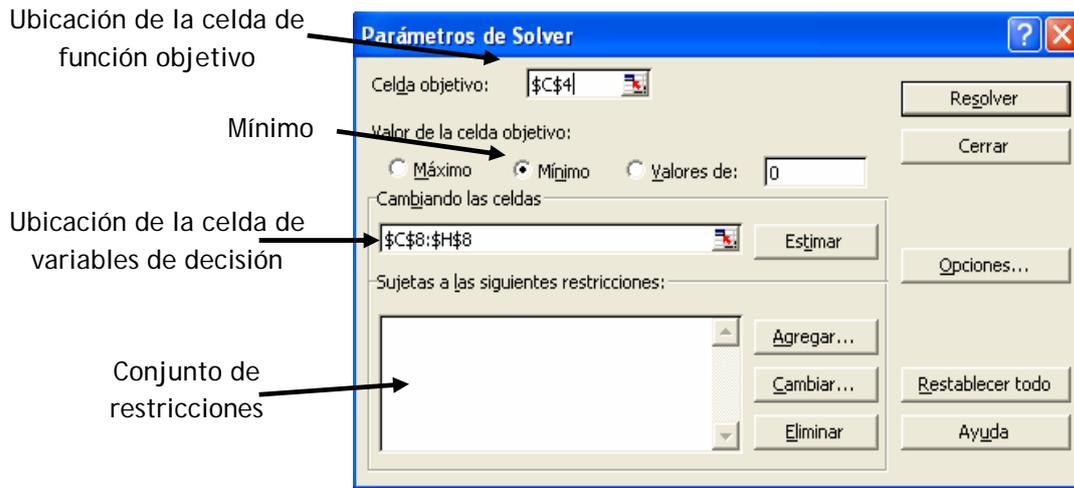


Figura 4.2. Ventana “Parámetros de Solver” de la herramienta Solver de excel

Esta ventana se utiliza para describir el problema de optimización. El campo **Celda Objetivo** contiene la celda donde se encuentra la función objetivo correspondiente al problema en cuestión. Dado que se desea hallar el mínimo, se selecciona **Mínimo**. En las celdas de las variables de decisión, ubicadas en C8:H8, aparecerán los valores óptimos de las cantidades a cortar de cada configuración.

Al hacer click en el botón **Agregar...**, aparece la ventana Agregar Restricción.

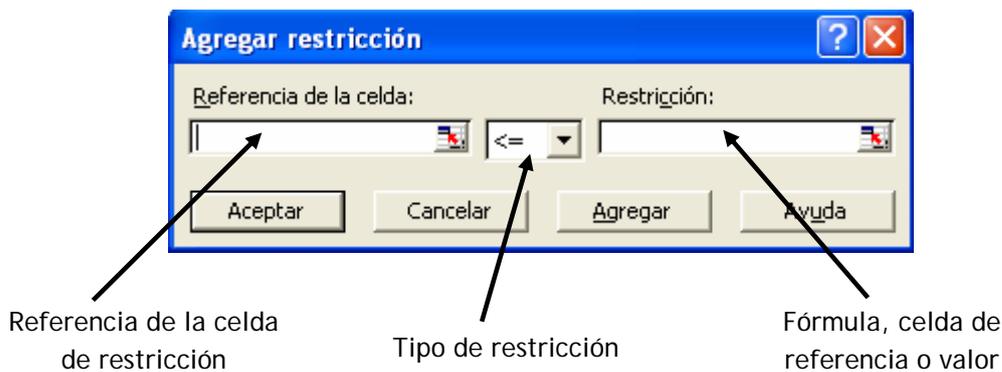


Figura 4.3. Ventana “Agregar restricción”, proveniente de “Parámetros de Solver”

Se hace click en el campo **Referencia de celda** y se especifica la ubicación de la celda que se desea restringir (Valores Reales, en la columna K). Una vez seleccionada la celda se determina el tipo de restricción que se le aplicará. En

este caso, debe ser igual al valor de la izquierda (columna J). Aquí se van agregando cada una de las restricciones (R1, R2 y R3):

- $J9 = K9$
- $J10 = K10$
- $J11 = K11$

Además se pide que todas las variables de decisión sean valores enteros (tipo de restricción es **int**):

- C8:H8 = integer

El botón **Agregar** añade la restricción especificada al modelo existente y vuelve a la ventana **Agregar restricción**. El botón **Aceptar** añade la restricción al modelo y vuelve a la ventana **Parámetros de Solver**.

Para aclarar que las variables no pueden tomar valores negativos se pueden tomar dos caminos: uno, es agregar, de a una por vez, cada variable y con un tipo de restricción \geq (mayor o igual) completar el campo **Restricción** con el valor **0** (cero); el otro camino es, desde la ventana **Parámetros de Solver**, hacer click en el botón **Opciones....** Se abrirá otra pantalla que tiene la opción **Asumir no negativos**; se selecciona esa casilla.

Puesto que el modelo es un programa entero lineal, también se selecciona la casilla de **Adoptar Modelo Lineal**; de esta manera, el programa utiliza el algoritmo simplex⁶ en lugar de un algoritmo no lineal más largo y complicado.

El campo **Tolerancia** se usa para programas enteros y especifica un porcentaje dentro del cual se garantiza la optimalidad⁷ de la solución. Como se intenta obtener la solución óptima, se pone el valor cero en ese campo. A continuación se presenta la pantalla **Opciones de Solver**:

⁶ Descubierta por el matemático norteamericano George Bernard Dantzig en 1947, es una técnica popular para dar soluciones numéricas del problema de la programación lineal.

⁷ En optimización, las condiciones de **optimalidad**, generalmente, hablan de resultados locales.

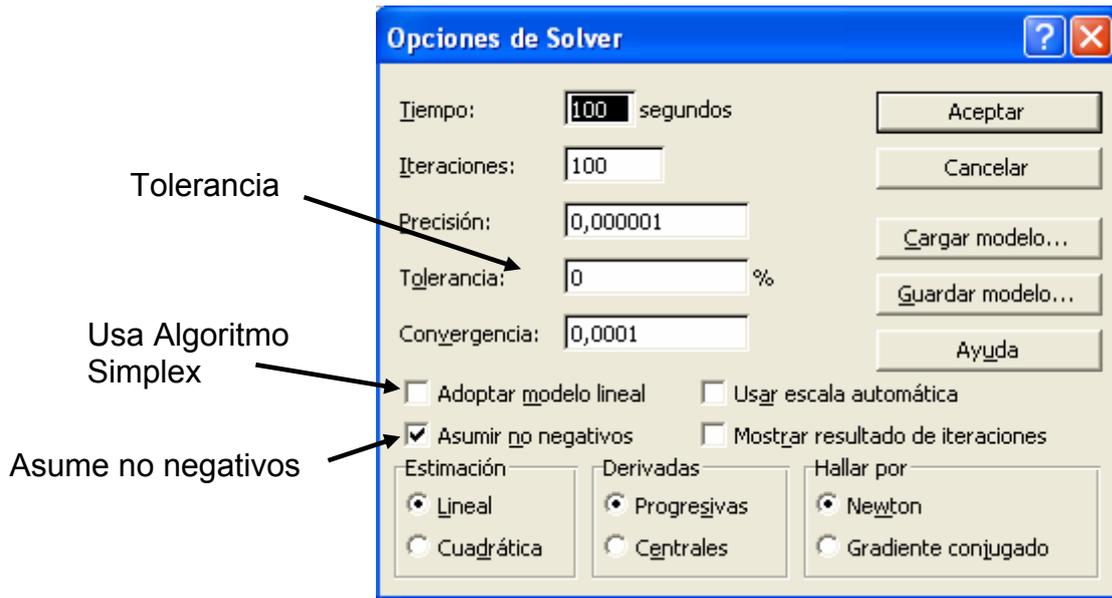


Figura 4.4. Ventana “Opciones de Solver”, proveniente de “Parámetros de Solver”

Finalmente, haciendo click en Aceptar, se vuelve a la pantalla original:



Figura 4.5. Ventana “Parámetros de Solver” con las restricciones y los datos cargados

Este es el modelo completo visto desde la pantalla **Parámetros de Solver**.

Para resolver el modelo, se hace click en el botón **Resolver**.

Las celdas pintadas de azul en la hoja de cálculo de Excel tomarán los valores óptimos buscados.

4.2. RESULTADOS

Luego de aplicar el procedimiento descrito en la sección anterior se arriba a los siguientes resultados que se muestran en la planilla Excel:

	A	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1											
2											
3		Minimizar									
4	Función Objetivo:	2511,16	\$								
5											
6	Coefficientes -->	6,95	6,45	12,81	14,17	12,31	13,24				
7		XA	XB	X1	X2	X4	X9				
8	Cantidad Config-->	28	336	0	4	0	7		RHS	Valor Real	
9	R1	0	1	19	16	8	0	=	400	400	
10	R2	2	0	3	9	27	44	=	400	400	
11	R3	1	1	0	0	0	0	=	364	364	
12											
13		XA, XB, X1, X2, X4, X9 ≥ 0 y ENTERAS									
14											
15	R1: cantidad de desarrollos SDSA31012 1000 x 174,8 mm										
16	R2: cantidad de desarrollos SDSA31014 455 x 180 mm										
17	R3: cantidad de recortes de 1284 X 284 mm, provenientes de SDSA30021, debe ser par										
18											
19											
20											

Figura 4.6. Planilla excel donde se generó el modelo con los resultados obtenidos

Como se pidió que las restricciones fueran del tipo “exactamente igual”, los valores reales resultan iguales a los requeridos.

Se presenta en la siguiente tabla un resumen de los resultados obtenidos:

Configuración		Cantidad de chapas/recortes ⁸	Cant. L por chapa	Cant. C por chapa
A		28	0	2

⁸ En las configuraciones A y B se utilizan recortes, mientras que en las configuraciones 2 y 9 se utilizan chapas enteras.

Optimización de Chapa y Metodología de Trabajo

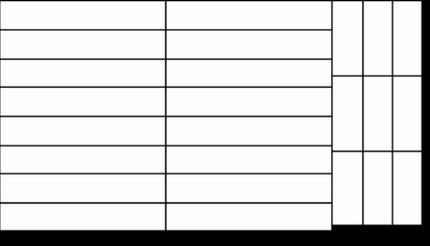
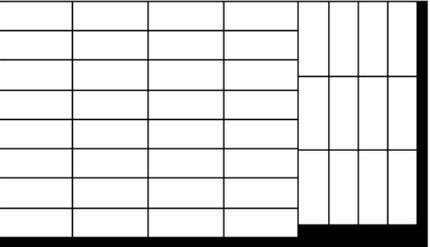
B		336	1	0
2		4	16	9
9		7	0	44

Tabla 4.2. Resultados obtenidos de la optimización realizada para el mes de Mayo '09

4.3. REGISTRO DE DATOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para comenzar a utilizar el programa se deben cargar los datos en la siguiente hoja de excel:

CARGAR LOS DATOS EN LAS CASILLAS VERDES														
Termotanques			TTEAR001	TTEAR002	TTEAR003	TTEAR004	TTEAR005	TTEAR006	TTERG007	TTERG008	TTERG009	TTERE010	TTERE011	TTERE012
Cargar Cant. Unidades -->			380	662	332	30	53	32	542	1040	494	634	637	318
Calefactores			TCAEU011	TCAEU012	TCAEU013	TCAEU014	TCAEU018	TCAEU019	TCAEU020	TCAEK001	TCAEK002	TCAEK003	TCAEK004	
Cargar Cant. Unidades -->			400	768	681	428	19	21	11	0	0	0	0	
Cargar Cant. Recortes en Stock -->														

Figura 4.7. Planilla de excel, diseñada para cargar datos

Hay una casilla destinada al stock de recortes. Si en un mes se produjeran únicamente termotanques, quedarían en stock los recortes que luego se utilizarán para desarrollos de calefactores. Es importante que se tome en cuenta la MP disponible para programar los cortes, así se optimizan todos los recursos vigentes y no se inmoviliza capital.

Los valores englobados en la figura anterior se actualizan con los valores cargados en la planilla con las casillas verdes. Representan la necesidad de desarrollos de L (R1), C (R2) y la cantidad disponible de recortes (R3). La cantidad disponible de recortes se calcula como los recortes en stock más los generados durante el período analizado (un mes).

Una vez ingresados los datos y actualizados en la hoja "SOLVER", se procede a aplicar la herramienta Solver como se explicó en el capítulo correspondiente.

Los resultados aparecerán en las casillas pintadas de la fila 8. Cada resultado indica la cantidad de chapas / recortes a cortar de cada configuración. Deberá

Optimización de Chapa y Metodología de Trabajo

contarse con la tabla de configuraciones graficadas para relacionarla con su código.

4	Función Objetivo:	2511,16	\$									
5												
6	Coefficientes -->	6,95	6,45	12,81	14,17	12,31	13,24					
7		XA	XB	X1	X2	X4	X9					
8	Cantidad Config.-->	28	336	0	4	0	7		RHS	Valor Real		
9	R1	0	1	19	16	8	0	=	400	400		
10	R2	2	0	3	9	27	44	=	400	400		
11	R3	1	1	0	0	0	0	=	364	364		
12												
13		XA, XB, X1, X2, X4, X9 ≥ 0 y ENTERAS										

Figura 4.8. Resultados obtenidos, ver fila 8

La metodología de trabajo consiste en seleccionar un espesor de chapa a estudiar. Plantear configuraciones alternativas de ubicación de desarrollos en chapa. Corroborar que las medidas de compra sean las óptimas para los desarrollos que se extraen de las mismas. Considerar tolerancias de entrega.

Extraer de cada configuración: scrap producido y cortes de guillotina. Valorizar el scrap, la mano de obra para realizar la cantidad de cortes necesarios, y la amortización de la cuchilla prorrateado por corte.

Plantear el modelo de programación lineal: restricciones y función objetivo. Extraer resultados óptimos y aplicarlo.

SECCIÓN 5. CONCLUSIONES.

5.1. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas se resumen en los siguientes puntos:

- Ahorro de dinero por modificaciones en la compra de la MP
- Optimización de MP, MO y herramental
- Rapidez en la toma de decisión sobre la configuración de corte a aplicar
- Aprovechamiento de los recortes → menor pulmón de recortes y menor cantidad de MP inmovilizada
- Independencia del operario en la toma de decisiones
- No debe realizarse ninguna inversión

En el Proyecto de Tesis se planteó el objetivo del trabajo de la siguiente manera: “El propósito de este proyecto es optimizar la materia prima, la mano de obra (evitando trabajos improductivos), los materiales y repuestos (herramientas de corte) y dejar registrada la metodología de trabajo.” Finalmente, se concluye que todos los objetivos planteados fueron alcanzados.

5.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A raíz del trabajo realizado se proponen las siguientes líneas de investigación:

- ✓ Ingeniería Inversa. Generación de piezas a partir de recortes.
- ✓ Ingeniería Concurrente. Desarrollo de piezas teniendo en cuenta la configuración de sus cortes en chapa.
- ✓ Implementación de bobinas para reemplazar el uso de chapas.
- ✓ Cambios e impacto en la cultura organizacional con la implementación de sistemas de registro.
- ✓ Desarrollo informático de una interfaz amigable (usability) para este programa de optimización.

APÉNDICE. BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS.

A. BIBLIOGRAFÍA

OIT. "Introducción al Estudio del Trabajo". Tercera Edición, Ginebra, Oficina Internacional del Trabajo, 1980. ISBN 92-2-301939-7

Meyers, Fred E., Stephens, Matthew P. "Diseño de Instalaciones de Manufactura y Movimiento de Materiales". Tercera Edición, Pearson Educación, 2006. ISBN 97-0-260749-3

Raymond Mayer: "Production and operations management" Nueva York y Londres, McGraw-Hill, tercera edición, 1975, págs. 516-517

Dalmaso, D., Moreno, L.E., TerniumSiderar. 2006. Especificaciones Técnicas de Producto Laminado en Caliente. IRAM-IAS U500-04

Segalis, M., Alonso, M., Pedraza J.P. TerniumSiderar. 2008. Especificaciones Técnicas de Producto Laminado en Frío. IRAM U 500-05 2004.

Registros SAP de la empresa EMEGE S.A.

Proyecciones de ventas de EMEGE S.A. para el período 2008-2009.

Kalpakjian, S, Schmid, Steven R. 2002. México. Manufactura, Ingeniería y Tecnología. Pearson Educación. ISBN 970-26-0137-1

Instrucciones de Excel Solver:

<http://mit.ocw.universia.net/15.053/s02/pdf/usingexcelsolver.pdf>

Enciclopedia libre:

<http://www.wikipedia.org>

www.acerosurssa.es

B. ANEXOS**Tipos y cantidades de Desarrollos por Modelo de Termotanque**

Termotanques modelo 1 y 4

TTEAR001/004			
Código Corte	Cantidad	Medidas Desarrollo	Chapa
SDSA30100	2	0,90X79X1000 MM	MCHA10004
SDSA30101	2	0,90X79X1000 MM	MCHA10004
SDSA30215	2	0,90X20X32 MM	MCHA10004
SDSA31309	2	0,90X196X202 MM	MCHA10004
SDSA31325	1	0,90X159X14,8 MM	MCHA10004
SDSA31329	1	0,90X65X1220 MM	MCHA10004
SDSA31331	1	0,90X400X400 MM	MCHA10004
SDSA31341	1	0,90X400X400 MM	MCHA10004
SDSA30688	4	0,71X60X120 MM	MCHA10005
SDSA31184	1	0,71X269,5X250 MM	MCHA10005
SDSA30005	1	1,25X164X2440 MM	MCHA10009
SDSA30028	1	1,25X60X1220 MM	MCHA10009
SDSA31002	1	1,25X111,3X1000 MM	MCHA10009
SDSA31188	1	1,25X55X626 MM	MCHA10009
SDSA31335	1	1,25X230,5X1299 MM	MCHA10009
SDSA31337	1	1,25X107X1220 MM	MCHA10009
SDSA31347	1	1,25X406,5X406,5 MM	MCHA10009
SDSA31403	1	1,25X166X1220 MM	MCHA10009
SDSA30098	1	0,40X46X64 MM	MCHA10010
SDSA31397	2	0,56X9X189 MM	MCHA10376
SDSA31307	1	1,60X494X1284 MM	MCHA10975
SDSA30401	2	1,25X72X1220 MM	MCHA12527
SDSA31388	1	1,25X17,5X1220 MM	MCHA12527
SDSA31315	1	0,61X1405X745 MM	MCHA12529
SDSA32122	2	0,61X530X530 MM	MCHA12529
SDSA31317	2	3,20X480X480 MM	MCHA12650
SDSA31190	1	1,25X215X255 MM	SDSA30028

Termotanques modelo 2 y 5

TTEAR002/005			
Código Corte	Cantidad	Medidas Desarrollo	Chapa
SDSA30005	1	1,25X164X2440MM	MCHA10009
SDSA30012	1	1,25X750X55 MM	MCHA10009
SDSA30019	1	1,60X1284X714 MM	MCHA10975
SDSA30028	1	1,25X60X1220 MM	MCHA10009
SDSA30098	1	0,40X46X64 MM	MCHA10010
SDSA30100	2	0,90X79X1000 MM	MCHA10004
SDSA30101	2	0,90X79X1000 MM	MCHA10004
SDSA30215	2	0,90X20X32 MM	MCHA10004
SDSA30401	2	1,25X72X1220 MM	MCHA12527
SDSA30688	4	0,71X60X120 MM	MCHA10005
SDSA31002	1	1,25X111,3X1000 MM	MCHA10009
SDSA31184	1	0,71X269,5X250 MM	MCHA10005
SDSA31309	2	0,90X196X202 MM	MCHA10004
SDSA31317	2	0,61X480X480 MM	MCHA12650
SDSA31325	1	0,90X159X14,8 MM	MCHA10004
SDSA31329	1	0,90X65X1220 MM	MCHA10004
SDSA31331	1	0,90X400X400 MM	MCHA10004
SDSA31335	1	1,25X230,5X1299 MM	MCHA10009
SDSA31337	1	1,25X107X1220 MM	MCHA10009
SDSA31341	1	0,90X400X400 MM	MCHA10004
SDSA31347	1	1,25X406,5X406,5 MM	MCHA10009
SDSA31374	1	0,61X1405X965 MM	MCHA12529
SDSA31388	1	1,25X17,5X1220 MM	MCHA12527
SDSA31397	2	0,56X29X189 MM	MCHA10376
SDSA31403	1	1,25X166X1220 MM	MCHA10009
SDSA32122	2	0,61X530X530 MM	MCHA12529
SDSA32427	1	0,71X72,5X53,5 MM	MCHA10007

Termotanques modelo 3 y 6

TTEAR003/006			
Código Corte	Cantidad	Medidas Desarrollo	Chapa
SDSA30100	2	0,90X79X1000 MM	MCHA10004
SDSA30101	2	0,90X79X1000 MM	MCHA10004
SDSA30215	2	0,90X20X32 MM	MCHA10004
SDSA31309	2	0,90X196X202 MM	MCHA10004
SDSA31325	1	0,90X159X14,8 MM	MCHA10004
SDSA31329	1	0,90X65X1220 MM	MCHA10004
SDSA31331	1	0,90X400X400 MM	MCHA10004
SDSA31341	1	0,90X400X400 MM	MCHA10004
SDSA30688	4	0,71X60X120 MM	MCHA10005
SDSA31184	1	0,71X269,5X250 MM	MCHA10005
SDSA32427	1	0,71X72,5X53,5 MM	MCHA10007
SDSA30005	1	1,25X164X2440 MM	MCHA10009
SDSA30028	1	1,25X60X1220 MM	MCHA10009
SDSA31002	1	1,25X111,3X1000 MM	MCHA10009
SDSA31335	1	1,25X230,5X1299 MM	MCHA10009
SDSA31337	1	1,25X107X1220 MM	MCHA10009
SDSA31347	1	1,25X406,5X406,5 MM	MCHA10009
SDSA31403	1	1,25X166X1220 MM	MCHA10009
SDSA31563	1	1,25X55X1256 MM	MCHA10009
SDSA30098	1	0,40X46X64 MM	MCHA10010
SDSA31397	2	0,56X29X189MM	MCHA10376
SDSA30021	1	1,60X1284X1216 MM	MCHA10975
SDSA30401	2	1,25X72X1220MM	MCHA12527
SDSA31388	1	1,25X17,5X1220 MM	MCHA12527
SDSA31198	1	0,61X1467X1405 MM	MCHA12529
SDSA32122	2	0,61X530X530 MM	MCHA12529
SDSA31317	2	0,61X480X480 MM	MCHA12650

Termotanque modelo 7

TTERG007			
Código Corte	Cantidad	Medidas Desarrollo	Chapa
SDSA32116	1	2,00X500X500 MM	MCHA10000
SDSA30001	1	0,90X365X200 MM	MCHA10004
SDSA30026	1	0,90X31,8X1220 MM	MCHA10004
SDSA30031	1	0,90X57X1220 MM	MCHA10004
SDSA32119	1	0,90X1304X157 MM	MCHA10004
SDSA30006	1	0,71X77X1220 MM	MCHA10007
SDSA30007	1	0,71X244X80 MM	MCHA10007
SDSA31339	1	0,71X170X170 MM	MCHA10007
SDSA30005	1	1,25X164X2440 MM	MCHA10009
SDSA30028	1	1,25X60X1220 MM	MCHA10009
SDSA30035	1	1,25X55X571 MM	MCHA10009
SDSA30017	1	2,50X500X500 MM	MCHA10013
SDSA30034	1	0,55X168X40,5 MM	MCHA11766
SDSA31717	1	1,25X71X1220 MM	MCHA12527
SDSA32115	1	1,25X416X1278 MM	MCHA12527
SDSA32112	1	0,61X1405X670 MM	MCHA12529
SDSA32122	2	0,61X530X530 MM	MCHA12529
SDSA32124	1	0,61X279X84 MM	MCHA12529
SDSA32126	1	0,61X119X1000 MM	MCHA12529
SDSA32127	1	0,61X298,5X308,5 MM	MCHA12529
SDSA33005	1	1,25X114,5X60 MM	SDSA30028

Termotanque modelo 8

TTERG008			
Código Corte	Cantidad	Medidas Desarrollo	Chapa
SDSA32116	1	2,00X500X500MM	MCHA10000
SDSA30001	1	0,90X365X200 MM	MCHA10004
SDSA30026	1	0,90X31,8X1220 MM	MCHA10004
SDSA30031	1	0,90X57X1220 MM	MCHA10004
SDSA32119	1	0,90X1304X157 MM	MCHA10004
SDSA30006	1	0,71X77X1220 MM	MCHA10007
SDSA30007	1	0,71X244X80 MM	MCHA10007
SDSA31339	1	0,71X170X170 MM	MCHA10007
SDSA30005	1	1,25X164X2440 MM	MCHA10009
SDSA30012	1	1,25X750X55 MM	MCHA10009
SDSA30028	1	1,25X60X1220 MM	MCHA10009
SDSA30017	1	2,50X500X500 MM	MCHA10013
SDSA30034	1	0,55X168X40,5 MM	MCHA11766
SDSA31717	1	1,25X71X1220 MM	MCHA12527
SDSA32135	1	1,25X714X1278 MM	MCHA12527
SDSA32122	2	0,61X530X530 MM	MCHA12529
SDSA32124	1	0,61X279X84 MM	MCHA12529
SDSA32126	1	0,61X119X1000 MM	MCHA12529
SDSA32127	1	0,61X298,5X308,5 MM	MCHA12529
SDSA32133	1	0,61X1405X934 MM	MCHA12529
SDSA33005	1	1,25X114,5X60 MM	SDSA30028

Optimización de Chapa y Metodología de Trabajo

Termotanque modelo 9

TTERG009			
Código Corte	Cantidad	Medidas Desarrollo	Chapa
SDSA32116	1	2,00X500X500 MM	MCHA10000
SDSA30001	1	0,90X365X200 MM	MCHA10004
SDSA30026	1	0,90X31,8X1220 MM	MCHA10004
SDSA30031	1	0,90X57X1220 MM	MCHA10004
SDSA32119	1	0,90X1304X157 MM	MCHA10004
SDSA30006	1	0,71X77X1220 MM	MCHA10007
SDSA30007	1	0,71X244X80 MM	MCHA10007
SDSA31339	1	0,71X170X170 MM	MCHA10007
SDSA30005	1	1,25X164X2440 MM	MCHA10009
SDSA30013	1	1,25X985X55 MM	MCHA10009
SDSA30028	1	1,25X60X1220 MM	MCHA10009
SDSA30017	1	2,50X500X500 MM	MCHA10013
SDSA30034	1	0,55X168X40,5 MM	MCHA11766
SDSA31717	1	1,25X71X1220 MM	MCHA12527
SDSA32143	1	1,25X1000X1278 MM	MCHA12527
SDSA32122	2	0,61X530X530 MM	MCHA12529
SDSA32124	1	0,61X279X84 MM	MCHA12529
SDSA32126	1	0,61X119X1000 MM	MCHA12529
SDSA32127	1	0,61X298,5X308,5 MM	MCHA12529
SDSA32141	1	0,61X1405X1220 MM	MCHA12529
SDSA33005	1	1,25X114,5X60 MM	SDSA30028

Termotanque modelo 10

TTERE010			
Código Corte	Cantidad	Medidas Desarrollo	Chapa
SDSA32116	1	2,00X500X500 MM	MCHA10000
SDSA32245	1	se utiliza sobrante	MCHA10000
SDSA30028	1	1,25X60X1220 MM	MCHA10009
SDSA30017	1	2,50X500X500 MM	MCHA10013
SDSA32306	1	2,50X25X1500 MM	MCHA10013
SDSA32115	1	1,25X416X1278 MM	MCHA12527
SDSA30861	1	0,61X270X266 MM	MCHA12529
SDSA32122	2	0,61X530X530 MM	MCHA12529
SDSA32211	1	0,61X1405X530 MM	MCHA12529
SDSA32305	1	0,61X148X47 MM	MCHA12529

Termotanque modelo 11

TTERE011			
Código Corte	Cantidad	Medidas Desarrollo	Chapa
SDSA32116	1	2,00X500X500 MM	MCHA10000
SDSA32245	1	se utiliza sobrante	MCHA10000
SDSA30028	1	1,25X60X1220 MM	MCHA10009
SDSA30017	1	2,50X500X500 MM	MCHA10013
SDSA32306	1	2,50X25X1500 MM	MCHA10013
SDSA32135	1	1,25X714X1278 MM	MCHA12527
SDSA30861	1	0,61X270X266 MM	MCHA12529
SDSA32122	2	0,61X530X530 MM	MCHA12529
SDSA32237	1	0,61X1405X794 MM	MCHA12529
SDSA32305	1	0,61X148X47 MM	MCHA12529

Termotanque modelo 12

TTERE012			
Código Corte	Cantidad	Medidas Desarrollo	Chapa
SDSA32116	1	2,00X500X500 MM	MCHA10000
SDSA32245	1	se utiliza sobrante	MCHA10000
SDSA30028	1	1,25X60X1220 MM	MCHA10009
SDSA30017	1	2,50X500X500 MM	MCHA10013
SDSA32306	1	2,50X25X1500 MM	MCHA10013
SDSA32143	1	1,25X1000X1278 MM	MCHA12527
SDSA30861	1	0,61X270X266 MM	MCHA12529
SDSA32122	2	0,61X530X530 MM	MCHA12529
SDSA32237	1	0,61X1405X794 MM	MCHA12529
SDSA32305	1	0,61X148X47 MM	MCHA12529

Descripción de Chapas por Código

Abreviaturas:

ELZ: Electro-zincado

LAC: Acero laminado en caliente

SPO: Acero std comercial laminado en frío

Código de Chapa	Medidas	Material
SDSA30028	1,25X215X255 MM	FOLIO ALUMUNIO
MCHA10000	2,00X1500X1500 MM	ACERO SPO
MCHA10004	0,90X1500X2440 MM	ACERO SPO
MCHA10005	0,71X1220X2440 MM	ACERO SPO
MCHA10007	0,71X1220X2440 MM	ACERO ELZ
MCHA10009	1,25X1220X3000 MM	ACERO ELZ
MCHA10010	0,40X1220X2440 MM	ACERO CINCADA
MCHA10013	2,50X1500X1500 MM	ACERO SPO
MCHA10376	0,56X1000X2000 MM	ACERO SPO
MCHA10975	1,60 X1500X2600 MM	ACERO SPO
MCHA11766	0,55X1500X1500 MM	PRE-PINT.BLANCO C/FOIL
MCHA12527	1,25X1350X3000 MM	ACERO SPO
MCHA12529	0,61X1500X3000 MM	ACERO SPO
MCHA12650	3,20X1500X1500 MM	ACERO LAC

Proyecciones de Ventas. Mix de producción.

Las siguientes tablas muestran el mix de producción por producto y por mes.

TTEAR001/004

	Ventas Período Ago 08 - Jul 09											
	ago-08	sep-08	oct-08	nov-08	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09
TTEAR001 (un)	204	204	252	198	111	180	195	335	304	379	323	338
TTEAR004 (un)	13	14	20	18	11	12	12	27	20	29	21	23
Total (un)	217	218	272	216	122	191	207	361	323	409	344	362
TTEAR001 (% mensual)	94%	93%	93%	92%	91%	94%	94%	93%	94%	93%	94%	94%
TTEAR004 (% mensual)	6%	7%	7%	8%	9%	6%	6%	7%	6%	7%	6%	6%
Total (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

TTEAR002/005

	Ventas Período Ago 08 - Jul 09											
	ago-08	sep-08	oct-08	nov-08	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09
TTEAR002 (un)	362	339	423	368	205	299	331	573	485	661	580	603
TTEAR005 (un)	22	24	35	32	19	20	22	48	35	52	38	42
Total (un)	384	363	457	400	225	320	353	621	520	714	618	645
TTEAR002 (% mensual)	94%	93%	92%	92%	91%	94%	94%	92%	93%	93%	94%	93%
TTEAR005 (% mensual)	6%	7%	8%	8%	9%	6%	6%	8%	7%	7%	6%	7%
Total (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

TTEAR003/006

	Ventas Período Ago 08 - Jul 09											
	ago-08	sep-08	oct-08	nov-08	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09
TTEAR003 (un)	169	180	253	199	99	160	177	296	242	331	274	295
TTEAR006 (un)	14	16	21	19	12	13	13	29	21	31	22	25
Total (un)	182	195	275	219	111	173	190	325	263	363	296	320
TTEAR003 (% mensual)	93%	92%	92%	91%	89%	93%	93%	91%	92%	91%	92%	92%
TTEAR006 (% mensual)	7%	8%	8%	9%	11%	7%	7%	9%	8%	9%	8%	8%
Total (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Hojas de toma de datos de tiempos:

Día: 14/06/2008		Sector: Guillotinas Chapa: MCHA10975	Producto: 1284 x 714 x 1,6 mm Guillotina Nº: 003
Nº muestra	T. de Ciclo (seg. decimales)	Observaciones	
1	9,82		
2	11,64		
3	11,47		
4	12,61		
5	11,11		
6	17,78	cambia el operario de entrada de chapa	
7	11,34		
8	13,57		
9	44,45	control dimensional + ajuste de topes + interrupción	
10	25,3	control dimensional	
11	10,53		
12	13,84		
13	11,59		
14	11,46		
15	10,67		
16	11,45		
17	10,67		
18	8,84		
19	12,12		
20	9,36		
21	10,92		
22	10,7		
23	10,94		
24	12,7		
25	12,34		
26	11,63		
27	9,2		
28	10,34		
29	11,84		
30	11,93		
31	11,98		
32	9,96		
33	11,33		
34	10,06		
35	10,4		
36	10,48		

Optimización de Chapa y Metodología de Trabajo

37	9,66	
38	10,78	
39	9,31	
40	10,2	
41	11,01	
42	10,62	
43	9,37	
44	9,93	
45	9,21	
46	11,16	
47	11,31	
48	10,93	
49	12,52	
50	8,52	
51	10,15	
52	11,64	
53	10,39	
54	11,63	
55	12,16	
56	10,71	
57	12,11	
58	10,74	
59	12,2	
60	10,74	
61	14,11	interrupción supervisor
62	10,17	

**Tablas de Producción y Ahorro por modelo de Termotanque en chapa
MCHA10975:**

Mes	Año	TTEAR001/004		
		Volumen de Producción	Ahorro mensual	
		un	u\$s	\$
Agosto	2007	257	14,14	44,95
Septiembre	2007	219	12,02	38,22
Octubre	2007	226	12,45	39,60
Noviembre	2007	179	9,84	31,29
Diciembre	2007	98	5,40	17,17
Enero	2008	158	8,68	27,60
Febrero	2008	180	9,89	31,44
Marzo	2008	232	12,73	40,48
Abril	2008	295	16,23	51,61
Mayo	2008	302	16,61	52,83
Junio	2008	306	16,85	53,58
Julio	2008	188	10,31	32,80

Mes	Año	TTEAR002/005		
		Volumen de Producción	Ahorro mensual	
		un	u\$s	\$
Agosto	2007	490	40,41	128,50
Septiembre	2007	419	34,53	109,81
Octubre	2007	434	35,76	113,71
Noviembre	2007	344	28,38	90,25
Diciembre	2007	192	15,83	50,35
Enero	2008	304	25,10	79,81
Febrero	2008	346	28,51	90,67
Marzo	2008	441	36,36	115,63
Abril	2008	565	46,55	148,04
Mayo	2008	579	47,71	151,73
Junio	2008	584	48,18	153,22
Julio	2008	362	29,81	94,80

Mes	Año	TTEAR003/006		
		Volumen de Producción	Ahorro mensual	
		un	u\$s	\$
Agosto	2007	282	46,44	147,69
Septiembre	2007	240	39,52	125,68
Octubre	2007	248	40,94	130,20
Noviembre	2007	196	32,39	102,99
Diciembre	2007	108	17,82	56,67
Enero	2008	173	28,57	90,86
Febrero	2008	197	32,54	103,47
Marzo	2008	254	41,82	132,98
Abril	2008	323	53,35	169,66
Mayo	2008	331	54,63	173,72
Junio	2008	336	55,36	176,06
Julio	2008	206	33,96	107,98