

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PRODUCTO

TRABAJO FIN DE MÁSTER

***AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL ÁREA DE
LAMINACIÓN EN FRÍO DE LA EMPRESA ALUDIUM
MEDIANTE LA REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE
PASADAS DADAS A LAS BOBINAS***

Estudiante	<i>Montiel Moreno, Unai</i>
Director/directora	<i>Plaza Pascual, Soraya</i>
Departamento	<i>Ingeniería Mecánica</i>
Curso académico	<i>2020/2021</i>

Bilbao, 21 de septiembre de 2021

Resumen

En el siguiente documento se detalla el proyecto llevado a cabo en la empresa Aludium, cuyo fin yace en aumentar la productividad del área de Laminación en Frío de la planta que la empresa tiene situada en Amorebieta. La actividad industrial de la empresa se centra en la fabricación de bobinas y chapas planas de aluminio.

Esta mejora de la productividad se fundamenta en incrementar la reducción del espesor de las bobinas de aluminio en las pasadas de laminación, de forma que el número de estas pueda verse reducido y, en consecuencia, la capacidad productiva del área de Laminación en Frío pueda verse aumentada.

Palabras clave

Aluminio, laminación, pasada, espesor, cilindro, reducción.

Laburpena

Hurrengo dokumentua Aludium enpresan egindako proiektuan zehazten da, enpresak Amorebietan kokatuta daukan lantegiko Hotz Ijezketa arearen produktibitatea handitzea helburua duena. Enpresaren industrial jarduera aluminiozko bobinen eta xafla lauen fabrikazioan oinarritzen da.

Produktibitatearen hobekuntza hau aluminiozko bobinen lodieraren murrizketa handitzean oinarritzen da, operazioen kopurua murriztu ahal izateko eta, ondorioz, Hotz Ijezketa arearen gaitasun produktiboa handitu ahal izateko.

Hitz gakoak

Aluminioa, ijezketa, pasaldi, lodiera, arrabol, murrizketa.

Abstract

The following document details the project carried out in Aludium company, whose purpose lies in increasing the productivity of the Cold Mill area of the plant that the company has located in Amorebieta. The industrial activity of the company focuses on the manufacture of aluminium flat sheets and coils.

This improvement in productivity is based on increasing the reduction of the thickness of the aluminium coils in the mill passes, so that the number of those operations can be reduced, and, consequently, the productive capacity of the Cold Mill area can be increased.

Key words

Aluminium, mill, pass, thickness, roll, reduction.

Índice de contenido

MEMORIA.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. CONTEXTO.....	3
3. OBJETIVOS Y ALCANCE.....	7
4. BENEFICIOS DEL PROYECTO.....	8
4.1. BENEFICIOS TÉCNICOS.....	8
4.2. BENEFICIOS ECONÓMICOS.....	8
4.3. BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES.....	9
5. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE.....	10
5.1. TEORÍA DE LA LAMINACIÓN EN FRÍO.....	10
5.1.1. TIPOS DE CONFIGURACIONES DE LAMINACIÓN.....	12
5.1.2. CONTACTO ENTRE BANDA Y CILINDROS DE TRABAJO.....	16
5.1.3. SISTEMA DE GENERACIÓN DE LA FUERZA DE COMPRESIÓN.....	19
5.1.4. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y LUBRICACIÓN.....	20
5.2. PROCESO PRODUCTIVO DE ALUDIUM.....	22
5.2.1. FUNDICIÓN.....	23
5.2.2. LAMINACIÓN EN CALIENTE.....	28
5.2.3. LAMINACIÓN EN FRÍO.....	32
5.2.4. ACABADOS.....	32
5.3. PROCESO DE LAMINACIÓN EN FRÍO DE ALUDIUM.....	38
5.3.1. LAMINADOR EN FRÍO 5 (LF5).....	39
5.3.2. LAMINADOR EN FRÍO 6 (LF6).....	45
5.3.3. HORNOS DE RECOCIDO (HR).....	48
6. ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE ALUDIUM.....	51
6.1. CR11082.....	53
6.2. CR12062.....	54
6.3. CR11302.....	55
6.4. CR12104.....	57
6.5. CR10439.....	58
7. MEJORA DE LOS PROCESOS.....	60
7.1. CR11082.....	60

7.2.	CR12062.....	61
7.3.	CR11302.....	62
7.4.	CR12104.....	64
7.5.	CR10439.....	65
7.6.	SOLUCIÓN FINAL.....	66
7.6.1.	ALTERNATIVA 1: ELIMINACIÓN DE LA RESTRICCIÓN DEL ESPESOR DE LOS HR	66
7.6.2.	ALTERNATIVA 2: REDUCCIÓN DEL ESPESOR DE ENTRADA A LF	68
7.6.3.	ALTERNATIVA 3: NUEVO ITEM SIN RECOCIDO INTERMEDIO	71
7.6.4.	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA.....	72
8.	ANÁLISIS DE RIESGOS	74
8.1.	IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS	74
8.1.1.	DEFECTOS DE CALIDAD EN LA BANDA (A)	74
8.1.2.	PROBLEMAS EN LAS MÁQUINAS (B).....	75
8.1.3.	RETRASO EN LOS PEDIDOS (C)	75
8.2.	EVALUACIÓN Y MATRIZ DE RIESGOS	76
8.3.	RESPUESTA A LOS RIESGOS	77
8.3.1.	DEFECTOS DE CALIDAD EN LA BANDA.....	77
8.3.2.	PROBLEMAS EN LAS MÁQUINAS	77
8.3.3.	RETRASO EN LOS PEDIDOS	78
	METODOLOGÍA DEL PROYECTO	79
9.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	80
9.1.	PASADAS POR DÍA	81
9.2.	PASADAS POR BOBINA	82
9.3.	CALIDAD SUPERFICIAL DE LAS BOBINAS.....	83
10.	PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	86
	ASPECTOS ECONÓMICOS	91
11.	DESCARGO DE GASTOS.....	92
12.	ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD	94
	CONCLUSIONES	96
	BIBLIOGRAFÍA	99
	ANEXOS	101

Índice de tablas

Tabla 1: Tabla prestaciones motor desbobinadora LF5	40
Tabla 2: Tabla prestaciones motor caja LF5.....	42
Tabla 3: Tabla prestaciones motor bobinadora LF5.....	44
Tabla 4: Tabla prestaciones motor desbobinadora LF6	46
Tabla 5: Tabla prestaciones motor caja LF6.....	47
Tabla 6: Tabla prestaciones motor bobinadora LF6.....	48
Tabla 7: Tabla reducciones CR11082	54
Tabla 8: Tabla reducciones CR12062	55
Tabla 9: Tabla reducciones CR11302 (1)	56
Tabla 10: Tabla reducciones CR11302 (2).....	57
Tabla 11: Tabla reducciones CR12104	58
Tabla 12: Tabla reducciones CR10439	59
Tabla 13: Tabla reducciones máximas CR11082	61
Tabla 14: Tabla reducciones CR11082 con espesor HR fijado.....	61
Tabla 15: Tabla reducciones máximas CR12062	62
Tabla 16: Tabla reducciones CR12062 espesor HR fijado.....	62
Tabla 17: Tabla reducciones máximas CR11302 (1).....	63
Tabla 18: Tabla reducciones CR11302 (1) espesor HR fijado	63
Tabla 19: Tabla reducciones máximas CR11302 (2).....	64
Tabla 20: Tabla reducciones máximas CR12104	64
Tabla 21: Tabla reducciones CR12104 espesor HR fijado.....	65
Tabla 22: Tabla reducciones máximas CR10439	65
Tabla 23: Tabla reducciones CR10439 espesor HR fijado.....	66
Tabla 24: Tabla reducciones CR12062 alternativa 1	67
Tabla 25: Tabla reducciones CR12104 alternativa 1	67
Tabla 26: Tabla reducciones CR11082 alternativa 2.....	68
Tabla 27: Tabla reducciones CR12062 alternativa 2	68
Tabla 28: Tabla reducciones CR11302 (1) alternativa 2.....	69
Tabla 29: Tabla reducciones CR11302 (2) alternativa 2.....	69
Tabla 30: Tabla reducciones CR12104 alternativa 2	70
Tabla 31: Tabla reducciones CR10439 alternativa 2	70
Tabla 32: Tabla reducciones CR10838	71
Tabla 33: Tabla reducciones CR10838 alternativa 3	72
Tabla 34: Tabla evaluación de riesgos	76
Tabla 35: Matriz de riesgos.....	77
Tabla 36: Tabla planificación tareas	88
Tabla 37: Tabla de hitos	89
Tabla 38: Datos generales para el análisis de costes	92
Tabla 39: Costes de horas internas	92
Tabla 40: Costes de amortizaciones.....	93
Tabla 41: Costes totales del proyecto	93
Tabla 42: Resumen ahorro de pasadas	94
Tabla 43: Resumen ahorro supuesto.....	95

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1: Aluminio empleado en la construcción</i>	4
<i>Ilustración 2: Aluminio empleado en la cosmética</i>	4
<i>Ilustración 3: Aluminio empleado en la alimentación</i>	5
<i>Ilustración 4: Aluminio empleado en el sector de la energía y el aislamiento</i>	5
<i>Ilustración 5: Aluminio empleado en la automoción</i>	6
<i>Ilustración 6: Aluminio empleado en la iluminación</i>	6
<i>Ilustración 7: Variación de las dimensiones principales de la banda de aluminio [Wusatowski, 1969]</i>	10
<i>Ilustración 8: Aumento de la resistencia del aluminio con el aumento de la reducción [Lumley, 2011]</i>	11
<i>Ilustración 9: Estructura del aluminio antes y después del tratamiento térmico [Pérez-Illzarbe Uriz, Faustmann Salas, & Suárez Sanabria, 2000]</i>	11
<i>Ilustración 10: Cilindros convexos</i>	12
<i>Ilustración 11: Configuración de cilindros 2-High</i>	13
<i>Ilustración 12: Configuración de cilindros 3-High</i>	14
<i>Ilustración 13: Configuración de cilindros 4-High</i>	14
<i>Ilustración 14: Configuración de cilindros Tándem</i>	15
<i>Ilustración 15: Configuración de cilindros Cluster</i>	15
<i>Ilustración 16: Contacto entre banda y cilindros de trabajo [Wusatowski, 1969]</i>	16
<i>Ilustración 17: Distribución de presiones sobre el aluminio</i>	17
<i>Ilustración 18: Ángulo de mordida</i>	17
<i>Ilustración 19: Transmisión de fuerzas entre cilindros hidráulicos, CAs y CTs</i>	20
<i>Ilustración 20: Esquema de la refrigeración/lubricación [Wusatowski, 1969]</i>	21
<i>Ilustración 21: Planta de Amorebieta [Aludium, 2018]</i>	22
<i>Ilustración 22: Diagrama de flujo preliminar de Aludium</i>	23
<i>Ilustración 23: Chatarra externa e interna</i>	23
<i>Ilustración 25: Horno fusor 2 (HF2)</i>	24
<i>Ilustración 26: Horno fusor 3 (HFM3)</i>	24
<i>Ilustración 27: Horno fusor 4 (HF4)</i>	25
<i>Ilustración 28: Horno fusor rotativo 4 (HFR4)</i>	25
<i>Ilustración 29: Extracción de escorias de la colada para su reciclaje</i>	26
<i>Ilustración 30: Canalizaciones para transportar el aluminio fundido</i>	26
<i>Ilustración 31: Horno de espera (HE)</i>	27
<i>Ilustración 32: Extracción de placa de la mesa de colada</i>	27
<i>Ilustración 33: Sierra de placas (SC4) cortando pie o bebedero de placa</i>	28
<i>Ilustración 34: Diagrama de flujo Fundición</i>	28
<i>Ilustración 35: Placas llegadas del exterior</i>	29
<i>Ilustración 36: Placa entrando en la fresadora de placas (FP2)</i>	29
<i>Ilustración 37: Placas entrando a los hornos de calentamiento (HC)</i>	30
<i>Ilustración 38: Virolas</i>	30
<i>Ilustración 39: Tren de laminación en caliente (LC2)</i>	31
<i>Ilustración 40: Almacén horizontal de bobinas (AH)</i>	31
<i>Ilustración 41: Diagrama de flujo Laminación en Caliente</i>	32
<i>Ilustración 42: Diagrama de flujo Laminación en Frío</i>	32
<i>Ilustración 43: Almacén vertical de bobinas (AV)</i>	33
<i>Ilustración 44: Línea de corte longitudinal (CC11)</i>	34
<i>Ilustración 45: Línea de corte de chapas (CA4)</i>	34
<i>Ilustración 46: Chapas cortadas en CA4</i>	35
<i>Ilustración 47: Aplanadora bajo tensión (AB1)</i>	35

<i>Ilustración 48: Diagrama de flujo Acabados</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 49: Productos embalados.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 50: Carro automático y carril.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 51: Puente grúa</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 52: Carretilla elevadora.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 53: Lay-out de la planta Amorebieta.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 54: Laminador en Frío 5 (LF5).....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 55: Paleta LF5 sobre el carril de rodillos.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 56: Cilindros de trabajo</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 57: Cilindro de apoyo.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 58: Rodillos prensa</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 59: Bobinadora LF5.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 60: Envolvedor por correas.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 61: Laminador en frío 6 (LF6)</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 62: Paletas LF6 sobre el carril de rodillos</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 63: Bobinadora LF6.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 64: Horno de recocido (HR) y mesa cargadora introduciendo bobinas en cámara de enfriamiento ..</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 65: 3 cámaras de enfriamiento (CE) y 3 hornos de recocido (HR)</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 66: Defecto Chevrón</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 67: Diagrama de Gantt.....</i>	<i>90</i>

Índice de gráficos

<i>Gráfico 1: Aleaciones más producidas</i>	<i>52</i>
<i>Gráfico 2: Evolución del número de pasadas por día</i>	<i>81</i>
<i>Gráfico 3: Evolución del número de pasadas por bobina</i>	<i>82</i>
<i>Gráfico 4: Previsión de la evolución del número de pasadas por bobina</i>	<i>83</i>
<i>Gráfico 5: Planeidad de la banda</i>	<i>84</i>
<i>Gráfico 6: Desviación del espesor de salida</i>	<i>84</i>
<i>Gráfico 7: Comparativa de los costes del proyecto</i>	<i>93</i>

Índice de acrónimos

HF2	Horno fusor número 2
HFM3	Horno fusor número 3
HF4	Horno fusor número 4
HFR4	Horno fusor rotativo número 4
HE2 – HE4	Hornos de espera
SC4	Sierra de placas
FP2	Fresadora de placas
HC5 – HC7	Hornos de calentamiento
LC2	Tren de laminación en caliente
LF5	Laminador en frío número 5
LF6	Laminador en frío número 6
HR7 – HR16	Hornos de recocido
CE1 – CE15	Cámaras de enfriamiento
AB1	Aplanadora bajo tensión
CC10	Línea de corte longitudinal número 10
CC11	Línea de corte longitudinal número 11
CA4	Línea de corte de chapas número 4
CA5	Línea de corte de chapas número 5
AH	Almacén horizontal
AV	Almacén vertical
CA	Cilindros de apoyo
CT	Cilindros de trabajo
LF	Laminación en Frío
LC	Laminación en Caliente

Índice de variables

Espeor de banda	h	[mm]
Ancho de banda	b	[mm]
Largo de banda	l	[mm]
Volumen de banda	V	[mm ³]
Sección de banda	S	[mm ²]
Reducción de espesor	ε	[-]
Reducción absoluta de espesor	ε	[%]
Radio del cilindro	R	[mm]
Diámetro del cilindro	D	[mm]
Ángulo de mordida	α	[°]
Arco de contacto banda-cilindro	L_p	[mm]
Carga de laminación	P	[N]
Carga promedio de laminación	\bar{p}	[N/mm ²]

MEMORIA

*AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL ÁREA DE LAMINACIÓN EN FRÍO DE LA
EMPRESA ALUDIUM MEDIANTE LA REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE PASADAS
DADAS A LAS BOBINAS*

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente documento detalla el proyecto llevado a cabo en la empresa Aludium Transformación de Productos S.L. por el alumno Unai Montiel Moreno, estudiante del Máster en Ingeniería Industrial en la Escuela de Ingeniería de Bilbao.

La actividad industrial de la empresa se centra en la fabricación de chapas y bobinas de aluminio, de manera que el proyecto va a estar enfocado a los procesos de fabricación de estos productos. Lo que se busca es aumentar la productividad de la empresa haciendo el proceso de transformación del aluminio más eficiente.

Este proceso parte de la producción de placas de aluminio mediante fundición, las cuales posteriormente son sometidas tanto a operaciones de laminación en caliente como a operaciones de laminación en frío, ambas con el objetivo de reducir el espesor de las placas iniciales y convertirlas en bandas de pequeño espesor que conforman bobinas. Finalmente, se somete a dichas bobinas a una serie de operaciones de acabado con el fin de conseguir el producto final.

El proyecto se centrará en el proceso de laminación en frío, al cual el aluminio llega ya en forma de bobina y se le somete a una serie de operaciones con objeto de conseguir el espesor deseado, además de una serie de características mecánicas. La forma de hacer que estos procesos sean más eficientes es conseguir el espesor final con el menor número de pasadas por el laminador, haciendo que en cada una de ellas la reducción del espesor sea la máxima posible.

Para ello, se realizará un análisis de la producción de la empresa Aludium de forma que se conozca por completo su proceso productivo. Se analizará la producción de la empresa y sus productos más fabricados. Tras ello, se pasará al análisis de sus procesos de transformación con la intención de mejorarlos.

Llegados a este punto, si los resultados del análisis de la producción y la mejora de los procesos de fabricación son concluyentes, se pasará al ensayo en máquina con la intención de verificar la idoneidad de estos nuevos procesos. Finalmente, si los resultados de los ensayos son óptimos y se ha conseguido ese aumento de eficiencia en el proceso de laminación en frío de la empresa, esto se llevará a la práctica dando por concluido el proyecto.

2. CONTEXTO

El proyecto desarrollado se sitúa en el mundo del conformado de metales, en el cual destacan operaciones tales como la laminación, el forjado, la extrusión, el doblado, el corte, etc. Estos procesos se fundamentan en la deformación plástica del metal, la cual cambia su forma inicial mediante la aplicación de esfuerzos. [Wusatowski, 1969]

En este caso, el proyecto trata de la transformación del aluminio mediante el proceso de laminación, el cual se divide en 2 tipos: laminación en caliente y laminación en frío. Este tipo de operaciones tienen como objetivo la reducción del espesor de un elemento aplicando esfuerzos de compresión mediante 2 cilindros en rotación. [Wusatowski, 1969]

El proyecto se centra en la laminación en frío del aluminio, que, a diferencia de la laminación en caliente, se realiza a temperatura ambiente. Este proceso aporta una serie de características al metal entre las que destacan un buen acabado superficial, unas buenas tolerancias dimensionales y una gran dureza. A lo largo del documento se describirá minuciosamente este tipo de procesos. [Lumley, 2011]

La empresa Aludium Transformación de Productos S.L. será la encargada de llevar a cabo este proyecto. Se trata de una nueva empresa que engloba tres fábricas pertenecientes a la multinacional Alcoa, las cuales se han fusionado bajo la marca Aludium. Esta operación fue iniciativa del grupo inversor industrial Atlas Holdings. [Aludium, 2018]

La actividad industrial de Aludium es la producción de chapas y bobinas de aluminio. Estos productos se fabrican en las tres plantas mencionadas, localizadas en Castel-Sarrazín (Francia), Alicante y Amorebieta (España), las cuales trabajan perfectamente coordinadas con un centro vanguardista de investigación y desarrollo de aluminio situado en Alicante. [Aludium, 2018]

Una gran experiencia en el sector gracias a su dilatada historia con el aluminio y una apuesta por la innovación y el desarrollo, convierten a Aludium en uno de los principales proveedores de aluminio de Europa. En base a esto, la oferta de Aludium es muy variada, abarca desde la cosmética hasta el sector del automóvil, pasando por una gran cantidad de sectores o clientes. Véanse, a continuación, algunos de esos sectores. [Aludium, 2018]

- Distribución

El sector de la distribución hace referencia a aquellas empresas, que, como Aludium, fabrican aluminio laminado, de forma que adquiriendo los servicios de Aludium pueden aumentar su capacidad productiva. Estas empresas compran el aluminio semi terminado, de forma que ellos solo tienen que rematar el proceso productivo. Es decir, no se trata de un sector final como los que se verán a continuación, en los que el aluminio se emplea ya para el fin para el que fue concebido, sino que es una especie de sector intermediario. Este mercado es uno de los más potentes para la empresa, y en el que se enfocan la gran parte de sus recursos.

- Construcción

La relación características mecánicas – peso que tiene el aluminio hace que sea uno de los metales más empleados a lo largo del mundo, pero, además, cuenta con una gran apariencia visual. Por ambos motivos es empleado en la construcción. Destacan productos como perfilería empleada en la tabicación de domicilios, perfilería para ventanas y puertas, persianas para locales comerciales, planchas utilizadas en las fachadas de los edificios, etc.



Ilustración 1: Aluminio empleado en la construcción

- Cosmética

Por su gran estética, el aluminio es empleado también en el sector de la cosmética. Todos aquellos elementos con apariencia metálica de los botes de colonia, elementos de maquillaje, botes de crema, etc. están fabricados con aluminio. Aparte de la estética, este elemento es utilizado por el poco peso que aporta a los elementos, además de la resistencia a la corrosión que garantiza.



Ilustración 2: Aluminio empleado en la cosmética

- Alimentación

Otro de los grandes sectores donde Aludium opera es la alimentación, en concreto en el embalaje de los alimentos. El producto estrella fabricado con aluminio en lo que a alimentación se refiere es la lata de bebidas, pero también es empleado en muchos más elementos: tapones de

botellas, recipientes para la comida para llevar, otro tipo de latas para alimentos sólidos, etc. Su resistencia a la corrosión lo hace un material idóneo para el almacenaje de alimentos.



Ilustración 3: Aluminio empleado en la alimentación

- Energía y aislamiento

El aluminio es un elemento muy utilizado en el sector de la energía y el aislamiento. Uno de los principales materiales en las plantas energéticas, empleado en la construcción de paneles solares, presente en intercambiadores de calor por su buena conductividad térmica, etc.

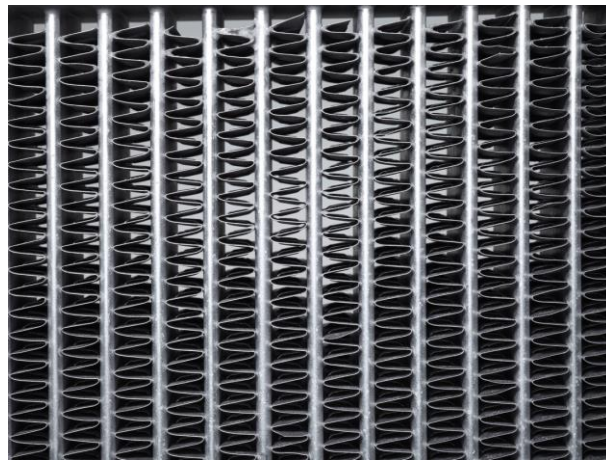


Ilustración 4: Aluminio empleado en el sector de la energía y el aislamiento

- Automoción

Un automóvil tiene una infinidad de piezas que lo componen, de las cuales muchas de ellas son de aluminio. Material utilizado tanto por su relación características mecánicas – peso para elementos estructurales, como por su estética para todo tipo de acabados exteriores e interiores. Los elementos fabricados en aluminio van desde el motor hasta los embellecedores de los laterales de los coches. Aludium en este caso proporciona aluminio para aplicaciones similares a esta última, dedicadas más a la estética del coche.



Ilustración 5: Aluminio empleado en la automoción

- Iluminación

Finalmente, otro de los sectores en los que la empresa opera es la iluminación. El aluminio fabricado por la empresa es empleado en elementos de iluminación exteriores e interiores, siendo su función la de conducir la electricidad, así como la de reflejar la luz emitida por las bombillas. Para esta última, un buen acabado superficial hace que el aluminio pueda cumplir con esta función.



Ilustración 6: Aluminio empleado en la iluminación

Conocido el contexto que rodea al proyecto, únicamente cabe añadir que el proyecto se llevará a cabo en la planta de Amorebieta, donde el alumno Unai Montiel Moreno trabaja como Ingeniero de Procesos en prácticas en el área de Laminación en Frío y será el encargado de la consecución del mismo.

3. OBJETIVOS Y ALCANCE

En lo que a objetivos del proyecto se refiere, el objetivo principal del proyecto es aumentar la eficiencia de los procesos de laminación en frío de la empresa Aludium, de forma que esto repercuta en la productividad de la empresa. Para llegar a tal fin se ha dividido el objetivo principal del proyecto en 3 objetivos secundarios.

- **Analizar la producción de Aludium**

El primero de ellos es el análisis de la producción de la empresa en el pasado año 2020. Se realizará un análisis sobre qué tipo de productos fueron los que más se fabricaron, de tal forma que, aumentando la eficiencia de los procesos de fabricación de dichos productos, el aumento reflejado en la producción global del departamento de Laminación en Frío será el máximo posible.

- **Mejorar los procesos productivos**

Conocidos los productos más fabricados, se pasará al segundo objetivo del proyecto, el cual posee un mayor peso o importancia en el documento. Este objetivo es el de la modificación del proceso de fabricación de los productos previamente seleccionados, convirtiéndolos en más eficientes. Se analizarán las operaciones de laminación que se realizan para fabricar los productos y se buscará reducir el número de estas. La dificultad radica en que se deben cumplir una serie de estándares a lo largo del proceso productivo que se deberán garantizar aun reduciendo el número de operaciones.

- **Implementar las mejoras en la producción de la empresa**

Finalmente, modificado el proceso de fabricación de los productos mayoritarios, el último objetivo del proyecto es el de implementar estos procesos en el día a día de la producción de Aludium, objetivo que realmente aportará valor a la empresa. Para ello, previamente se realizarán ensayos en máquina de forma que se verifique la idoneidad de las modificaciones. Se realizará un análisis de los resultados de los ensayos y en función de estos se concluirá si los nuevos procesos se pueden llevar a la producción diaria.

Por otro lado, en cuanto al alcance, como ya se ha mencionado, el proyecto tiene como límite o meta el aumento de eficiencia del área de laminación en frío de la empresa Aludium. Por ello, el proyecto abarca desde un análisis previo de cuál es la situación de la producción de la empresa; pasa por la modificación de los procesos productivos necesarios para aumentar dicha eficiencia; y llega hasta los ensayos en máquina de estos nuevos procesos para, después, implementarlos en la producción de Aludium.

4. BENEFICIOS DEL PROYECTO

A lo largo del proyecto, los agentes involucrados experimentarán una serie de beneficios, los cuales podemos dividir en beneficios técnicos, beneficios económicos e incluso beneficios medioambientales. Estos serán diferentes para cada una de las partes, entre las que se destacan la empresa Aludium, el autor del proyecto y la sociedad en sí misma.

4.1. BENEFICIOS TÉCNICOS

Los beneficios técnicos son aquellos que repercuten en la mejora de la producción de la empresa. El proyecto tendrá como resultado un aumento de la eficiencia de la producción, por lo que la empresa experimentará un ahorro en tiempo y recursos considerable. Este ahorro supondrá un aumento en la capacidad productiva de la empresa, haciendo que pueda asumir la captación de nuevos clientes.

En el caso del autor del proyecto, los beneficios técnicos se traducen en un aumento del conocimiento respecto al mundo de la industria del aluminio y de la industria en todo su conjunto. Se adquirirán una serie de conocimientos y herramientas que, de no ser por el proyecto, serían muy superficiales, tales como la laminación de metal.

4.2. BENEFICIOS ECONÓMICOS

Respecto a los beneficios económicos que reportará el proyecto, el mayor beneficiario será la empresa. Con el aumento de la eficiencia de los procesos productivos se experimentará un ahorro cuantioso.

Por un lado, se tendrá el ahorro derivado de los materiales utilizados, por ejemplo, a menor número de pasadas de laminación menor será la cantidad de fluido refrigerante o fluido lubricante utilizado. Por otro lado, la vida útil de las máquinas laminadoras aumentará con la reducción de operaciones que se realizará en ellas. Esto supondrá un ahorro en los costes que tiene la empresa, donde se incluyen las amortizaciones de la maquinaria.

De manera más indirecta, la reducción de operaciones tendrá repercusión en el *Recovery* de la empresa, es decir, en la cantidad de material que se pierde a lo largo de los procesos productivo. La cuestión yace en que, a menor número de operaciones, menor será esta pérdida de aluminio, y en consecuencia mayor será el *Recovery* y menores serán los costes para Aludium.

4.3. BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES

El último tipo de beneficios son los medioambientales, de los cuales, la sociedad será la más favorecida. Estos beneficios surgen por la disminución de la huella de carbono dejada por la empresa al reducir el número de operaciones de sus procesos productivos.

Se parte de una huella de carbono derivada de la producción de Aludium, así como de todos sus proveedores. Disminuidas las operaciones a realizar, las emisiones unitarias producidas para fabricar una bobina serán menores. Del mismo modo, todo tipo de emisiones derivadas de los materiales utilizados, de la maquinaria utilizada y de los vehículos utilizados se verán reducidas.

5. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

En este apartado se va a describir de manera extensa tanto la laminación en frío de una manera teórica, el proceso productivo completo de Aludium y el proceso de laminación en frío de la empresa de forma más concreta. El objetivo de este apartado será dotar al lector del conocimiento necesario para el entendimiento total de la actividad industrial que desarrolla la empresa y los trabajos realizados durante el documento.

5.1. TEORÍA DE LA LAMINACIÓN EN FRÍO

A continuación, se dará una descripción de la base teórica sobre la que se fundamenta la laminación en frío del aluminio en la empresa Aludium. Se hablará del esquema o configuración de los cilindros utilizados en la laminación; del contacto entre los actores principales, la banda de aluminio y los cilindros de laminación; del sistema encargado de ejercer la fuerza y del sistema de lubricación y refrigeración que se emplea en este tipo de procesos.

Antes de empezar, cabe destacar que las bobinas llegan al área de Laminación en Frío de la empresa desde el área de Laminación en Caliente, por lo que el aluminio a tratar está dispuesto en una bobina formada por una banda de bajo espesor.

A estas bobinas se les somete a operaciones de laminación en frío que consisten en hacerlas pasar por 2 cilindros rotativos encargados de ejercer una fuerza compresiva sobre ellas. De esta forma, el espesor de la banda de aluminio se reduce (h) mediante la deformación plástica del metal. La reducción de dicha dirección tiene efecto el aumento de las otras 2 direcciones principales (b y l), siendo más acusada la dimensión de la dirección de laminación (l) y prácticamente nula la otra dirección (b). [Wusatowski, 1969] [Lumley, 2011]

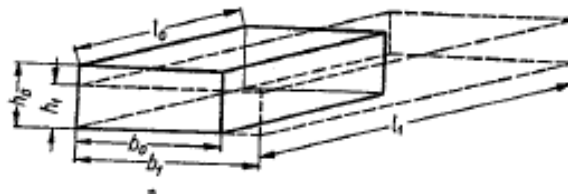


Ilustración 7: Variación de las dimensiones principales de la banda de aluminio [Wusatowski, 1969]

Esta deformación se realiza a temperatura ambiente, lo que hace que el metal conserve una serie de características mecánicas debidas a este tipo de procesos. Además, se garantiza un gran acabado superficial y unas tolerancias muy estrechas. [Lumley, 2011]

Sin superar la temperatura de recristalización del material, el aluminio laminado experimentará un aumento en su dureza y su resistencia mecánica. Este aumento se debe al alargamiento de los granos del aluminio (y en consecuencia el alargamiento de los límites de grano) y al aumento de la densidad de dislocaciones en su estructura. Véase la siguiente ilustración para analizar dicho aumento

de dureza y resistencia mecánica según el grado de reducción. Se ve como a medida que se aumenta la reducción del aluminio, su dureza aumenta, siendo más acusado este efecto en el aluminio aleado. [Pérez-Illzarbe Uriz, Faustmann Salas, & Suárez Sanabria, 2000] [Lumley, 2011]

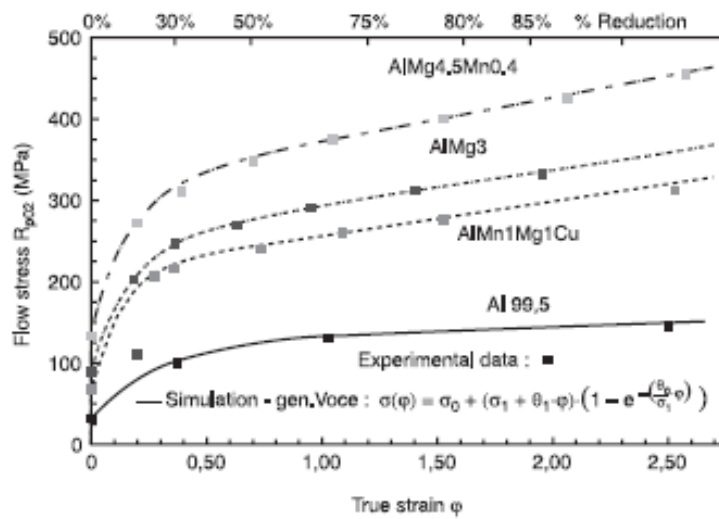


Ilustración 8: Aumento de la resistencia del aluminio con el aumento de la reducción [Lumley, 2011]

El aumento de la dureza se da a costa de una reducción de su ductilidad, es decir, una reducción de su capacidad a la deformación. Esto se traduce en que el aluminio es más duro, pero a su vez es más fácil de romper. Es posible que la reducción dada al aluminio sea tal que la dureza sea demasiado elevada para seguir deformando la banda (y por proceso esto sea necesario), por lo que será imprescindible reducir dicha dureza. Esto se consigue mediante la recristalización del material. [Wusatowski, 1969]

Llevando al aluminio a una serie de condiciones térmicas es posible la reordenación de sus átomos, de forma que se consiga una distribución de dislocaciones diferente y una red de granos nueva y regular. Esto se traduce en una reducción de la dureza del material, haciéndolo de nuevo deformable. Para el aluminio puro la temperatura de recristalización es de 280°C y para el aluminio aleado varía en función de los aleantes. [Pérez-Illzarbe Uriz, Faustmann Salas, & Suárez Sanabria, 2000]

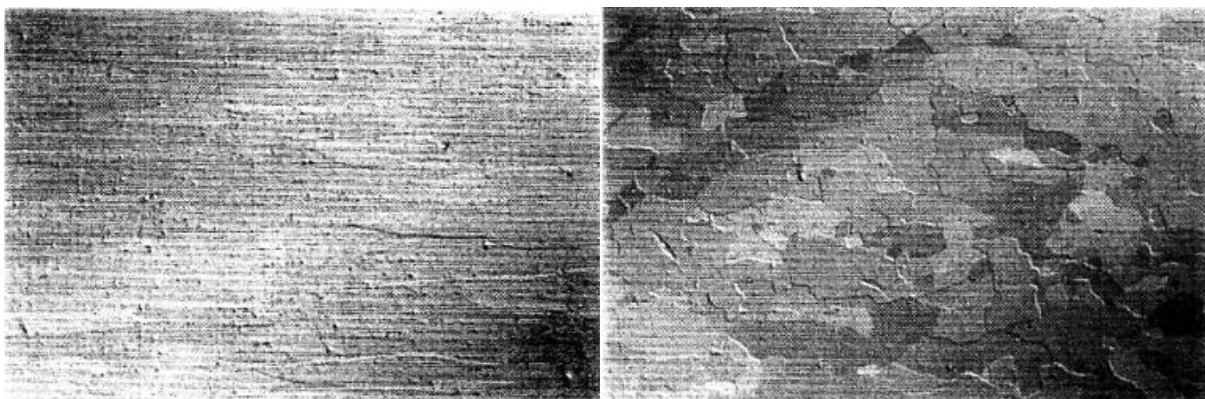


Ilustración 9: Estructura del aluminio antes y después del tratamiento térmico [Pérez-Illzarbe Uriz, Faustmann Salas, & Suárez Sanabria, 2000]

Después de dar estas pinceladas de información sobre la laminación en frío del aluminio, a continuación, se hablará de una serie de puntos considerados de gran importancia.

5.1.1. TIPOS DE CONFIGURACIONES DE LAMINACIÓN

La reducción del aluminio en la laminación en frío se consigue aplicando esfuerzos de compresión a la banda. Estos esfuerzos se transmiten mediante 2 o más cilindros, los cuales se diferenciarán en 2 tipos según su función: [Wusatowski, 1969]

- Cilindros de trabajo (CT)

Son aquellos que están en contacto con la banda de aluminio y siempre serán los encargados de aportar la velocidad de laminación a la banda. Este contacto se analizará en el apartado 5.1.2. Se trata de cilindros de aceros especiales fabricados mediante procesos de fundición, los cuales poseen unas altas características mecánicas debido a las sollicitaciones a las que estarán sometidos. [Groveer, 2007]

Se sabe que cuanto mayor sean estos cilindros, mayor será la fuerza necesaria para dar una misma reducción al espesor de la banda. Por esto, se busca utilizar cilindros de menor diámetro con el objetivo de reducir esta fuerza. Esto tiene como consecuencia que los cilindros flecten debido a la fuerza de reacción devuelta por la banda de aluminio, de forma que para evitar esto se utilizan otro tipo de cilindros auxiliares, los cilindros de apoyo, que se verán a continuación. [The Aluminum Association, 2007]

En la siguiente ilustración se ve otro método para evitar el efecto de la flexión de los cilindros. En vez de utilizar elementos totalmente cilíndricos, se les da cierta convexidad para que, al flectar, la cara que está en contacto con la banda quede totalmente plana.

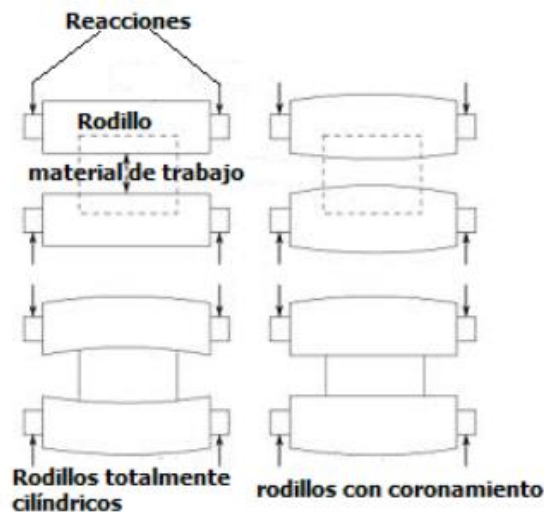


Ilustración 10: Cilindros convexos

- Cilindros de apoyo (CA)

Son aquellos cilindros encargados de aportar la rigidez necesaria a los cilindros de trabajo para evitar que estos flecten durante el proceso de laminación. Su proceso de fabricación es el mismo que para los cilindros de trabajo, solo que estos tendrán un diámetro mucho mayor.

Puede darse el caso que sean necesarias fuerzas de compresión altas, de forma que los CT se deformen debido a la fuerza de reacción ejercida por la banda de aluminio. Si esto ocurre, los CA

transmitirán la fuerza necesaria de forma más uniforme a lo largo de los CT, en vez de únicamente en sus extremos como ocurriría en el caso de tener solo CT. [The Aluminum Association, 2007]

Dependiendo del número de cilindros utilizados y la función de cada uno de ellos, se diferenciarán las siguientes configuraciones para llevar a cabo la laminación:

5.1.1.1. CONFIGURACIÓN 2-HIGH

Para este tipo de configuración se utilizan únicamente 2 cilindros de trabajo, no son necesarios cilindros de apoyo. Por ello, normalmente se tendrán cilindros de trabajo de diámetros elevados para así evitar su deformación, como ya se ha comentado. [The Aluminum Association, 2007]

Se puede tener uno de ellos fijo y el otro ajustable en altura, de forma que esta variable marque el espesor final tras la laminación; o se puede tener ambos ajustables en altura. El esquema de este tipo de configuración es el siguiente: [The Aluminum Association, 2007]

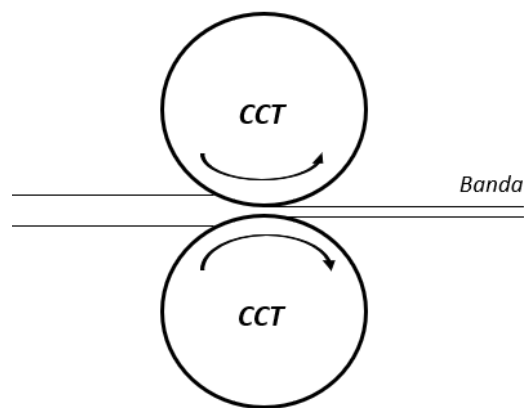


Ilustración 11: Configuración de cilindros 2-High

5.1.1.2. CONFIGURACIÓN 3-HIGH

En este otro tipo de configuración se añade 1 cilindro de trabajo más, pero como en la anterior, no intervienen los cilindros de apoyo. Se colocan uno encima de otro, de forma que el cilindro intermedio participe en 2 procesos de laminación simultáneamente. Este tipo de configuración se suelen emplear cuando se quiere una gran productividad. [The Aluminum Association, 2007]

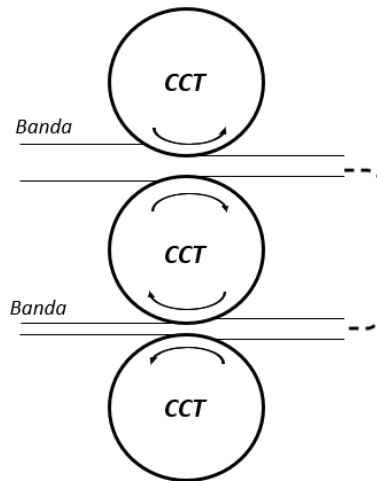


Ilustración 12: Configuración de cilindros 3-High

5.1.1.3. CONFIGURACIÓN 4-HIGH

Para las 2 configuraciones anteriores no se disponía de CA, por lo que los CT debían ser capaces de aportar fuerzas elevadas para llevar a cabo la laminación sin sufrir deformaciones excesivas. Para esta otra configuración, sin embargo, los cilindros de apoyo aportarán una rigidez más elevada a los cilindros de trabajo. De esta forma, se pueden utilizar CT con menores diámetros, lo que se traducirá en una disminución de la fuerza necesaria para dar una misma reducción al espesor de la banda de aluminio. [The Aluminum Association, 2007]

Dicho esto, se tienen 2 CT en contacto con la banda, y 2 CA colocados junto a ellos. El sistema hidráulico actuará sobre los CA, que transmitirán uniformemente por toda su longitud la fuerza a los CT, los cuales comprimirán la banda de aluminio sin sufrir deformaciones elevadas. Esta configuración es la que se tiene en los laminadores de la empresa, tanto en el LF5 como en el LF6 como en el LC2. [The Aluminum Association, 2007]

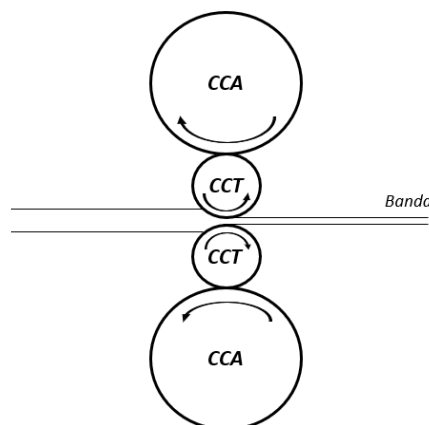


Ilustración 13: Configuración de cilindros 4-High

5.1.1.4. CONFIGURACIÓN TÁNDEM

Esta configuración se basa en la configuración 4-High. Se colocan tantas “cajas” 4-High como se deseen de forma que la banda de aluminio vaya reduciendo su espesor según vaya pasando por cada una de las cajas o conjuntos de cilindros. Este tipo de configuración es ideal para plantas con una alta producción donde se quiera reducir el espesor del aluminio lo más rápido posible. [The Aluminum Association, 2007]

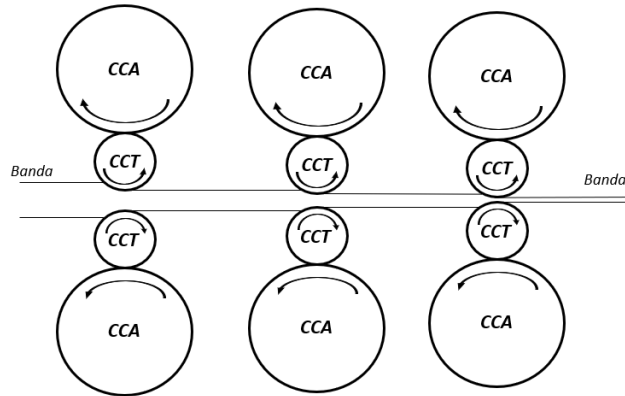


Ilustración 14: Configuración de cilindros Tándem

5.1.1.5. CONFIGURACIÓN CLUSTER

Para esta configuración se dispone de más de un CA por cada CT. El número de estos será función de los requerimientos del proceso. El motivo de emplear este tipo de configuración será el material a laminar. Cuando se trata de materiales muy duros es interesante utilizar esta configuración, de forma que rigidizando un CT de poco diámetro con más de un CA se consiga deformar el material sin deformar los CT. [The Aluminum Association, 2007]

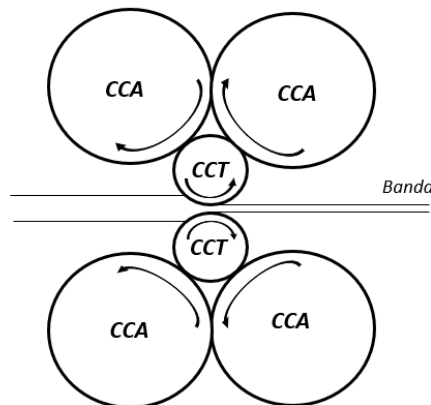


Ilustración 15: Configuración de cilindros Cluster

5.1.2. CONTACTO ENTRE BANDA Y CILINDROS DE TRABAJO

El siguiente punto a analizar será el contacto existente entre los cilindros de trabajo y la banda de aluminio. La reducción del aluminio, el ángulo de mordida, la velocidad de laminación y la fricción son las variables más importantes en este contacto.

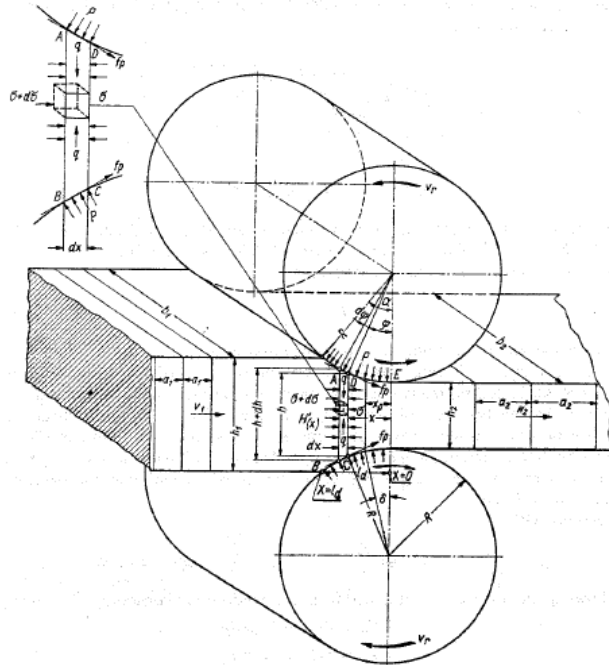


Ilustración 16: Contacto entre banda y cilindros de trabajo [Wusatowski, 1969]

Lo primero a destacar será cómo es el cálculo de la reducción del aluminio por cada pasada. Se tomarán las variables que aparecen en la ilustración anterior y que ya se mencionaron en la Ilustración 7: el espesor h , el ancho b y el largo l .

De estas variables se obtienen los volúmenes de banda (V) y las secciones transversales de la banda (F) en cualquiera de las pasadas que se someta a la banda de aluminio, tanto antes como después. Es importante destacar que se debe garantizar el principio de la conservación del volumen en todo momento.

$$V_n = h_n \cdot b_n \cdot l_n \quad (5.1)$$

$$F_n = h_n \cdot b_n \quad (5.2)$$

Dicho esto, se tiene que el espesor de la banda de aluminio se define como:

$$h = \frac{F}{b} \quad (5.3)$$

El volumen de banda debe ser el mismo en todas las pasadas, de forma que por el principio de conservación del volumen se tiene:

$$V_1 = h_1 \cdot b_1 \cdot l_1 = h_2 \cdot b_2 \cdot l_2 = V_2$$

Desarrollando la ecuación se llega a la ecuación de la reducción relativa de la banda de aluminio:

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \quad (5.4)$$

Finalmente, esta reducción se puede expresar de forma absoluta multiplicando dicha ecuación por 100: [Wusatowski, 1969]

$$\varepsilon (\%) = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \cdot 100 \quad (5.5)$$

Conocida la expresión de la reducción del espesor de la banda de aluminio, la fórmula 5.5, a continuación, se hablará acerca de otra de las variables más importante en la laminación, el ángulo de mordida. Este ángulo hace referencia a la superficie de los cilindros que está en contacto con la banda, es decir, la parte que ejercerá la presión sobre el aluminio. Esta variable gobernará el proceso de laminación y evitará situaciones como los patinazos, el deslizamiento relativo excesivo entre los cilindros y la banda, etc. [Schröder, 2003]

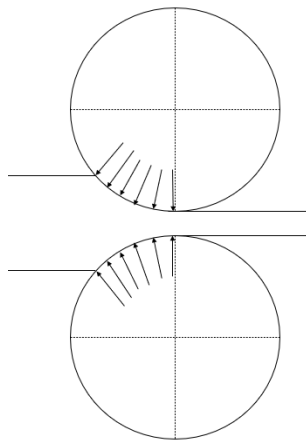


Ilustración 17: Distribución de presiones sobre el aluminio

El procedimiento para calcular el ángulo de mordida comienza tirando una recta (OA) desde el centro de la sección del cilindro (O) hasta el punto donde se da el primer contacto con la arista de la banda (A). El ángulo (α) que forma dicha recta con el eje de laminación (OB) es el ángulo de mordida. Véase en la siguiente ilustración: [Wusatowski, 1969]

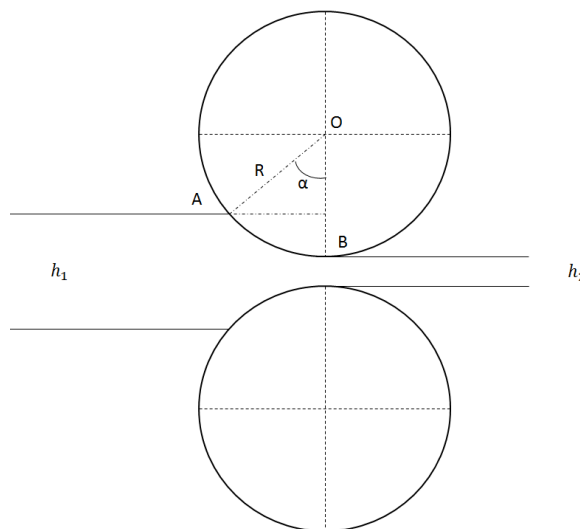


Ilustración 18: Ángulo de mordida

Mediante cálculos trigonométricos, partiendo de la diferencia de espesores, el cálculo es el siguiente:

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

Dividido entre 2 debido a la existencia de los 2 cilindros:

$$\frac{\Delta h}{2} = \frac{h_1 - h_2}{2}$$

El radio del cilindro es igual a la siguiente expresión:

$$R = R \cdot \cos \alpha + \frac{h_1 - h_2}{2}$$

De donde se saca la expresión del ángulo de mordida, siendo D el diámetro del cilindro: [Wusatowski, 1969]

$$\cos \alpha = 1 - \frac{h_1 - h_2}{D} \quad (5.6)$$

El ángulo de mordida y la velocidad con la que se lamina estarán íntimamente ligados. Una velocidad alta se traduce en un bajo ángulo de mordida, lo que equivale a tener poca fricción en la laminación y que se produzcan los patinazos ya mencionados. A un ángulo de mordida elevado, la velocidad se verá limitada y la fricción puede que sea excesiva, elevando en demasía los consumos de carga del laminador. Esto incluso puede provocar daños superficiales. Por ello, siempre se busca una solución de compromiso para optimizar el proceso de laminación. [Schröder, 2003]

Conocida la superficie que contactará con el aluminio, marcada por el ángulo de mordida, lo siguiente a analizar es la carga a ejercer. Para el cálculo de la carga se asume que el arco de contacto (AB) se puede expresar como una recta en la dirección de la laminación y como el espesor es mucho más pequeño que el radio del cilindro, trigonométricamente se obtiene la siguiente ecuación:

$$L_p = R \cdot \Delta h^{1/2} \quad (5.7)$$

Dando lugar a que la carga se calcule de la siguiente manera: [Wusatowski, 1969]

$$P = \bar{p} \cdot b \cdot L_p \quad (5.8)$$

Siendo \bar{p} la carga promedio de laminación.

Finalmente, analizados el ángulo de mordida y la carga a ejercer sobre el aluminio, es interesante hacer un inciso en la fuerza de fricción que entra en juego en este contacto y la velocidad superficial de los cilindros.

La velocidad superficial del cilindro es diferente tanto a la velocidad de salida como a la velocidad de entrada de la banda. Esto significa que existe un pequeño deslizamiento entre cilindros y banda. Este deslizamiento generará una fuerza de fricción entre ambos elementos. [Groveer, 2007]

La diferencia de velocidades mencionada hace que exista un punto en el que la velocidad de la banda sea exactamente igual a la velocidad del cilindro, punto llamado punto de no deslizamiento, que

separa dos frentes de fuerzas. Ambas 2 son fuerzas de fricción, pero con direcciones diferentes. La diferencia entre estas fuerzas es fundamental para que se produzcan la laminación. [Groveer, 2007]

5.1.3. SISTEMA DE GENERACIÓN DE LA FUERZA DE COMPRESIÓN

Como se mencionó, el proyecto se engloba en el mundo del conformado de metales, en el cual destacan procesos como la laminación, el forjado, la extrusión, el doblado, el corte, etc. La finalidad de estos procesos es deformar plásticamente el metal mediante esfuerzos para darle una forma deseada. En este apartado se hablará sobre la manera de aplicar estos esfuerzos, centrándose en el proceso de la laminación. Para esta aplicación de esfuerzos, se suelen utilizar equipos llamados prensas. Se encargan de transmitir una fuerza de compresión al elemento que se quiere deformar. [Wusatowski, 1969]

La generación de esa fuerza puede ser de diferentes tipos, de forma que cada una de ellas tendrá unas ventajas y unas desventajas a tener en cuenta a la hora de elegirla. Según cual sea el proceso en el que se utilizará el equipo o la máquina, se elegirá un tipo u otro. Se destacan 2 tipos de prensas, ya que son las más extendidas:

5.1.3.1. PRENSAS MECÁNICAS

El corazón de la prensa es un mecanismo biela-manivela. Este tipo de prensas son utilizadas para aquellos procesos en los que la aplicación de la fuerza sea repetitiva, es decir, no sea necesario una fuerza continua, sino simplemente pulsos de esta. Esto las hace equipos de una alta productividad, con un bajo coste unitario y de simple configuración. [Metalmecánica Internacional, 2019]

Este tipo de prensas son utilizadas para troquelado, corte, embutición, etc. de elementos unitarios generalmente semiplanos. Pasa el elemento, se aplica la fuerza y sale el elemento deformado. Para casos de elementos continuos como extrusión de perfiles metálicos, laminación de elementos largos, etc. se utilizará otro tipo de prensas. [Metalmecánica Internacional, 2019]

El encargado de hacer el movimiento de vaivén y aplicar la fuerza de forma intermitente será el mecanismo de biela-manivela. Según sea la cinemática del mecanismo, la fuerza y la velocidad cambiarán. Sin embargo, siempre garantizarán fuerzas muy elevadas, pero un mal control de su velocidad. [Departamento de Ingeniería Mecánica, 2017]

5.1.3.2. PRENSAS HIDRÁULICAS

El otro de tipo de prensas más utilizadas es la prensa hidráulica. En este caso, el corazón de la máquina es un, o varios, cilindros hidráulicos. Estos serán los encargados de suministrar la fuerza necesaria para deformar el metal.

Este tipo de prensas son idóneas tanto para aquellos procesos en los que la fuerza debe aplicarse durante un periodo de tiempo, como por ejemplo en la laminación de elementos largos, como para procesos repetitivos. En estos últimos, la productividad y repetitividad será peor que el tipo de prensas anterior. [Metalmecánica Internacional, 2019]

La fuerza y la velocidad dependerán del caudal suministrado al cilindro y de la presión ejercido por este. Ambas son controlables a lo largo de toda la carrera del cilindro, al contrario que las mecánicas, que disponían de su fuerza máxima al final de la carrera. [Metalmecánica Internacional, 2019]

Debido al proceso sobre el que trata este documento, se ve claro como el equipo o máquina que se utiliza para la laminación del aluminio serán las prensas hidráulicas. Garantizarán la fuerza necesaria, un control de la velocidad adecuado para el proceso y una fuerza constante durante todo el tiempo de laminación.

Como se ha visto en apartados anteriores, la configuración de cilindros para los laminadores de la empresa es la configuración 4-High, es decir, 2 cilindros de trabajo y 2 cilindros de apoyo. Dicho esto, en las prensas hidráulicas que se tienen en la empresa los cilindros hidráulicos ejercerán la fuerza sobre los cilindros de apoyo, y estos transmitirán la fuerza a los cilindros de trabajo que están en contacto con la banda de aluminio.

En uno de los laminadores, el LF5, se dispone de 2 cilindros hidráulicos capaces de generar una fuerza de 1.300 toneladas, mientras que, en el otro, el LF6, se tienen otros 2 cilindros generando una fuerza de 1.600 toneladas. En ambos la configuración del circuito de transmisión de la fuerza es la misma.

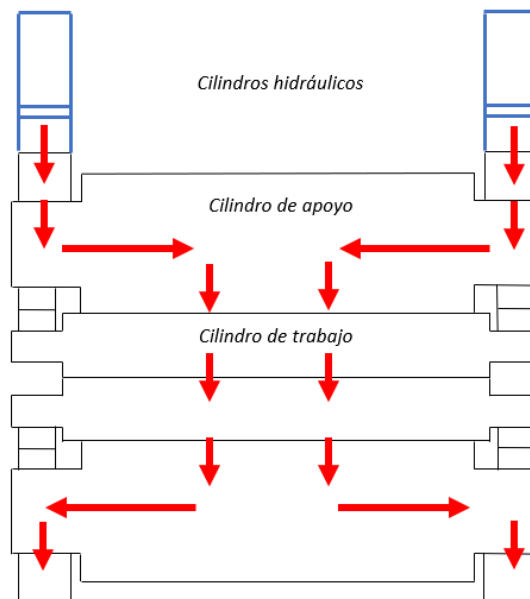


Ilustración 19: Transmisión de fuerzas entre cilindros hidráulicos, CAs y CTs

5.1.4. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y LUBRICACIÓN

En teoría, las bobinas que se procesan mediante la laminación en frío están a temperatura ambiente. Sin embargo, debido a la presión a las que se somete a las bandas que forman estas bobinas y a la fricción que se genera con los cilindros de trabajo, la temperatura de estas bobinas aumenta de forma notoria. Se puede pasar de tener la bobina a unos 25°C a la entrada del laminador, a tenerla a la salida a unos 80°C-100°C. [The Aluminum Association, 2007]

Este calor generado en el proceso de laminación deberá ser evacuado. Es importante que se someta a los cilindros a una refrigeración eficiente, ya que una temperatura elevada podría alterar tanto las características del aluminio como las de los propios cilindros, de forma que el proceso previamente estudiado y diseñado no se parezca a lo que está ocurriendo en la realidad. [The Aluminum Association, 2007]

Aparte de la refrigeración de los cilindros, otro aspecto importante relacionado con esto último será la lubricación de la banda de aluminio y los cilindros de trabajo. Es necesario que el contacto entre ambos elementos este perfectamente lubricado de forma que no se produzcan daños superficiales sobre la banda. [The Aluminum Association, 2007]

Para cumplir con ambas funciones, en la laminación en frío se utiliza el mismo fluido, capaz de aportar la lubricación necesaria a los cilindros y a la banda y capaz de evacuar el calor generado por el proceso. Este líquido es una mezcla de agua emulsionada con un aceite destilado del petróleo con una baja carga de aditivos. [The Aluminum Association, 2007]

Este aceite debe garantizar una serie de prestaciones para que cumpla con la función que se le encomienda, por lo que es filtrado continuamente y recirculado en el proceso de laminación. Véase a continuación una ilustración del esquema de la refrigeración/lubricación de un conjunto de cilindro 4-High: [The Aluminum Association, 2007]

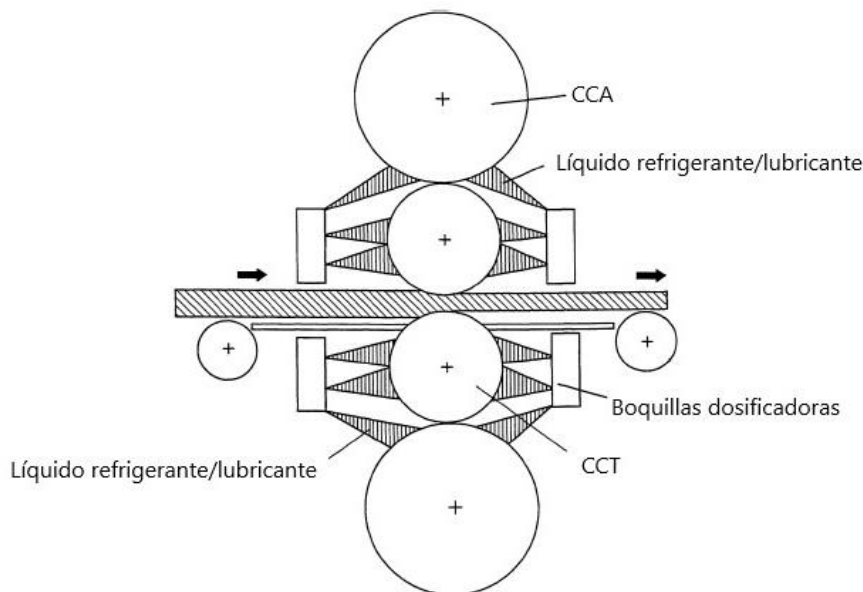


Ilustración 20: Esquema de la refrigeración/lubricación [Wusatowski, 1969]

Conocida una base teórica simple sobre la que se fundamenta la laminación en frío y todos los aspectos interpretados como importantes, a continuación, se pasará a hablar acerca del proceso productivo de la empresa y del proceso de laminación en frío de forma más concreta.

5.2. PROCESO PRODUCTIVO DE ALUDIUM

Como ya se ha mencionado en apartados anteriores, la actividad industrial de Aludium Transformación de Productos S.L. es la fabricación de bobinas y chapas de aluminio. Para tal fin, la empresa consta de tres plantas: Castelsarrasin, Amorebieta y Alicante. El documento se centrará en la planta de Amorebieta, lugar donde se emplaza el proyecto.



Ilustración 21: Planta de Amorebieta [Aludium, 2018]

El aluminio entra en la planta como materia prima en forma de chatarra, ya sea tanto en cubos prensados como en chatarra suelta. Esta es transportada a la planta mediante camiones, los cuales la depositan bajo unas tejavanas donde se almacena hasta su utilización.

El primer proceso al que se somete al aluminio es el proceso de fundición. La chatarra es introducida en hornos fusores, los cuales mediante temperatura convierten la chatarra de aluminio en estado líquido. La colada obtenida de los hornos fusores es introducida en una mesa de colada donde solidifica obteniendo las placas sólidas de aluminio.

Tras la solidificación de las placas, estas pasan al área de Laminación en Caliente. Se las somete a un calentamiento previo de forma que alcancen la temperatura adecuada antes de pasar por el laminador, donde se da una serie de pasadas hasta alcanzar un espesor preliminar. Las placas abandonan el área de laminación en caliente ya con forma de bobina.

El siguiente proceso es la laminación en frío. En este departamento se somete a las bobinas a una serie de pasadas con objeto de reducir su espesor aún más hasta el espesor deseado. Se dispone también de hornos cuyo propósito es dotar al aluminio de las características mecánicas deseadas. Las bobinas abandonan la zona de Laminación en Frío prácticamente terminadas.

Por último, el proceso final al que se somete a las bobinas es el acabado. En función del tipo de producto que se quiera conseguir, si bobinas, rollos (bobinas divididas en partes más estrechas o cortas) o chapas, las bobinas pasan por diferentes máquinas donde se aplanan, se cortan o se les realiza otro tipo de proceso. Completado todo esto, el producto se embala y se almacena en la zona de expediciones hasta que un camión lo lleve hasta el cliente.

Cabe destacar que, durante todo el proceso, si el producto no cumple con unos estándares de calidad predeterminados se deriva a chatarra comenzando de nuevo el proceso. Véase, a continuación, el diagrama de flujo preliminar del proceso productivo de Aludium.

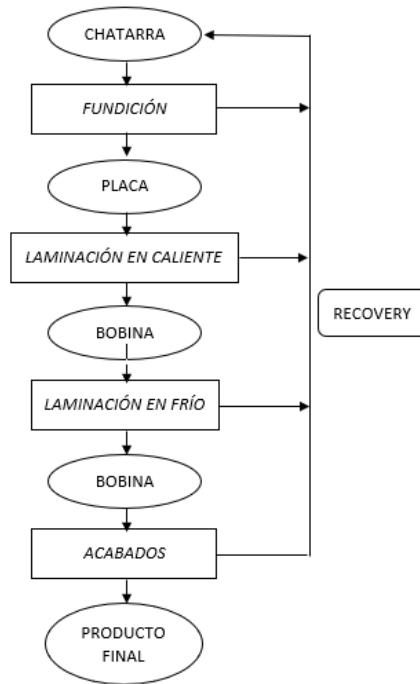


Ilustración 22: Diagrama de flujo preliminar de Aludium

Conocido de forma general el proceso de la empresa, en los siguientes apartados se describirá cada uno de los procesos con toda la maquinaria utilizada.

5.2.1. FUNDICIÓN

Como se acaba de mencionar, la materia prima de la que se nutre la planta es la chatarra que llega del exterior y la que se genera internamente por recortes y por las propias escorias de las coladas de fundición. Esta chatarra se clasifica en función de la composición del aluminio y sus aleaciones. Además, Aludium cuenta también con otro tipo de materia prima, empresas externas le suministran placas ya fabricadas.



Ilustración 23: Chatarra externa e interna

La primera operación a la que se somete al aluminio es la fundición. Para ello la empresa cuenta con 4 grupos fusores, compuestos por un horno fusor y un horno de espera, y tras ellos una mesa de colada.

5.2.1.1. HORNOS FUSORES

En cuanto a los hornos fusores, Aludium cuenta con 4 hornos diferentes. Son los encargados de fundir el aluminio y convertirlo en colada, utilizando para tal fin gas natural como fuente de calor. Los 4 hornos son los siguientes:

- Horno fusor 2 (HF2)

Se trata de un horno de 12 toneladas de capacidad. Tiene una potencia nominal de 3.954kW y trabaja a una presión de entre 70 y 140mbar. Para la combustión del gas natural, el horno cuenta con 2 quemadores. Este horno es capaz de alcanzar los 1250°C.



Ilustración 24: Horno fusor 2 (HF2)

- Horno fusor 3 (HFM3)

Este otro horno fusor tiene 19 toneladas de capacidad. Su potencia nominal es de 4.070kW, parecida al HF2. Sin embargo, este horno trabaja a mayor presión, entre 250 y 300mbar. Tiene 2 quemadores como fuentes de calor, mediante los cuales el horno llega hasta los 1050°C.



Ilustración 25: Horno fusor 3 (HFM3)

- Horno fusor 4 (HF4)

El HF4 es el más grande de los 4, con una capacidad de 45 toneladas. Tiene una potencia nominal de 15.000kW utilizada para trabajar a 44mbar. En este caso, el horno cuenta con hasta 6 quemadores. Su temperatura máxima es de 1250°C.



Ilustración 26: Horno fusor 4 (HF4)

- Horno fusor rotativo 4 (HFR4)

Este horno es diferente a los demás. Se trata de un horno rotativo, el cual tiene la capacidad de bascular para verter la colada en las canalizaciones que la transportan hasta los hornos de espera. Este horno cuenta con una capacidad de 40 toneladas y una potencia de 7.000kW. Para la combustión del gas natural cuenta con 1 solo quemador. Además, alcanza los 1500°C.



Ilustración 27: Horno fusor rotativo 4 (HFR4)

Los tres primeros hornos se alimentan con recortes internos y chatarra del exterior, sin embargo, el horno rotativo se caracteriza por ser alimentado a base de chatarra del exterior y las escorias producidas en el resto de los hornos. Esto hace que la eficiencia energética de este horno sea mayor al utilizar aluminio desechable. Véase, a continuación, el método empleado para eliminar las escorias de las coladas.



Ilustración 28: Extracción de escorias de la colada para su reciclaje

5.2.1.2. HORNOS DE ESPERA

Una vez se dispone de la colada producida en los hornos fusores, esta se transporta a los hornos de espera mediante canalizaciones.



Ilustración 29: Canalizaciones para transportar el aluminio fundido

En estos hornos se consigue la homogeneización del aluminio, es decir mantener el aluminio un cierto tiempo hasta estabilizar la temperatura y garantizar una serie de propiedades. Aludium cuenta con 3 hornos de espera alimentados por gas natural también:

- Horno de espera 2 (HE2)
- Horno de espera 3 (HE3)
- Horno de espera 4 (HE4)

Los 3 hornos tienen capacidades y potencias acordes a los hornos de los que se alimentan: HF2, HFM3, HF4 y HFR4 (estos 2 últimos juntan sus coladas en el HE4).



Ilustración 30: Horno de espera (HE)

5.2.1.3. MESA DE COLADA

Homogeneizado el aluminio y con una temperatura de unos 750°C, es trasvasado a la mesa de colada, donde en pozos, el aluminio solidifica convirtiéndose en placas de entre 7 y 15 toneladas, con dimensiones de unos 5.500mm de largo, 575mm de espesor y un ancho entre los 850 y 1.770mm.

Esta mesa cuenta con 6 huellas de diferentes tamaños. El tipo de colada utilizada es la colada vertical.

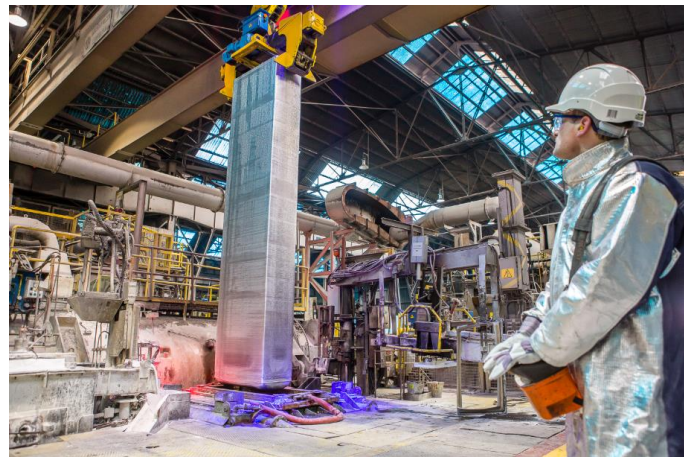


Ilustración 31: Extracción de placa de la mesa de colada

5.2.1.4. SIERRA DE PLACAS (SC4)

Una vez se dispone de las placas, estas pasan por una sierra de placas (SC4) donde se cortan las 2 puntas, es decir, el fondo del pozo (o pie) y el bebedero, zonas con mayor cantidad de impurezas y defectos internos. Esta máquina es capaz de cortar placas de hasta 1.800mm de ancho y 600mm de espesor. El material cortado se introduce de nuevo en el proceso productivo.



Ilustración 32: Sierra de placas (SC4) cortando pie o bebedero de placa

Con la placa saneada, se pasa al siguiente área de la planta, la Laminación en Caliente. Pero antes véase un pequeño diagrama de flujo del área de Fundición.

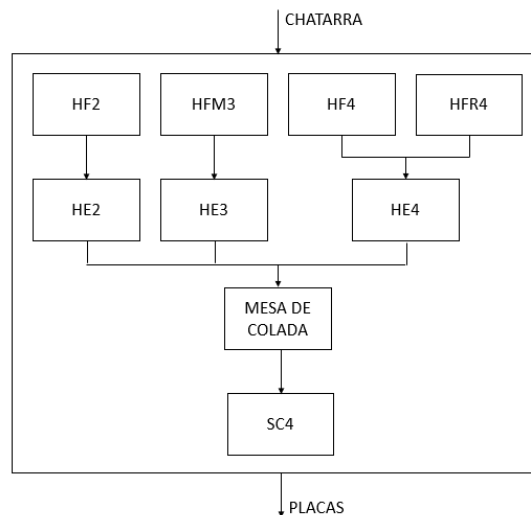


Ilustración 33: Diagrama de flujo Fundición

5.2.2. LAMINACIÓN EN CALIENTE

El segundo área de la planta es la Laminación en Caliente, donde llegan tanto las placas fabricadas aguas arriba del proceso en la fábrica como las placas fabricadas por empresas externas. Este área cuenta con una fresadora de placas, hornos de calentamiento, un tren de laminación en caliente y un almacén horizontal de bobinas.



Ilustración 34: Placas llegadas del exterior

5.2.2.1. FRESADORA DE PLACAS (FP2)

Las placas provenientes de la sierra de placas SC4 pasan primero por la fresadora de placas FP2. La fresadora se encarga de fresar las 2 caras principales de las placas con el objetivo de eliminar cualquier tipo de defecto superficial. Todo el material fresado es reconducido aguas arriba del proceso como chatarra.

La FP2 tiene una profundidad de corte entre 1 y 15mm normalmente, pudiendo llegar hasta los 20mm. Trabaja con una velocidad de avance de hasta 4.000mm/min y una velocidad de corte de 3.000m/min, siendo la velocidad de giro del cabezal de 4.747rpm. Su potencia nominal es de 560kW.

La fresa cuenta con un solo cabezal porta cuchillas, en el cual se dispone de 3 tipos de cuchillas diferentes: 18 cuchillas de desbaste, 1 cuchilla de acabado de tipo 1 y 1 cuchilla de acabado de tipo 2, con diámetros de corte de 1.930mm, 1.920mm y 1.900mm respectivamente.



Ilustración 35: Placa entrando en la fresadora de placas (FP2)

5.2.2.2. HORNOS DE CALENTAMIENTO (HC)

Con la placa fresada y ya lista para comenzar con su laminación, es necesario elevar la temperatura de la misma para que sea posible dicha operación. Aludium cuenta con 3 hornos de calentamiento (HC5, HC6 y HC7) alimentados por gas natural, que trabajan entre los 500°C y los 550°C según sea la aleación del aluminio, pero que pueden llegar hasta los 650°C. Para proporcionar esta temperatura cada horno cuenta con 24 quemadores. La potencia de los hornos HC5 y HC6 es de 11.630kW, mientras que la del horno HC7 de 17.280kW.

La capacidad de los hornos es de 21 placas cada uno de ellos, haciendo un total de 63 placas o de 286 toneladas totales.

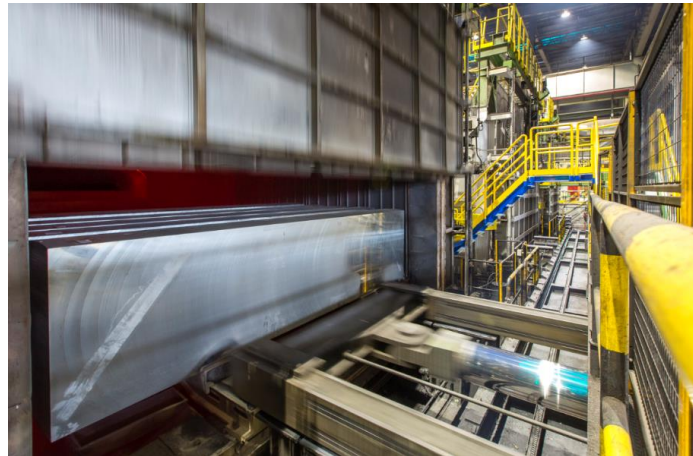


Ilustración 36: Placas entrando a los hornos de calentamiento (HC)

5.2.2.3. TREN DE LAMINACIÓN EN CALIENTE (LC2)

Conseguida la temperatura deseada, las placas comienzan su proceso de laminación. Se somete a la placa a una serie de pasadas entre cilindros de acero de forma que se vaya reduciendo su espesor y se vaya formando una banda de gran longitud. Para ellos se dispone de un tren de laminación de unos 400m, que, partiendo de un espesor de 575mm, se llega a un espesor entre 12 y 4mm.

Conseguido el espesor deseado, la banda se enrolla sobre sí misma en la bobinadora del LC2 en su última pasada. Puede ser enrollada directamente sobre el mandrino de la bobinadora, que una vez se extraiga la bobina, quedará con un hueco interior; o puede ser enrollada sobre un elemento llamado virola. Se trata de un cilindro hueco de acero sobre el cual se sujetan las bobinas y que servirá para la manipulación de las mismas. A continuación, se adjunta una ilustración con una pila de virolas.



Ilustración 37: Virolas

A la salida, las bandas tienen un ancho máximo de 1.700mm y un mínimo de 750mm y el diámetro de las bobinas debe estar comprendido entre 2.000mm y 1.100mm. Del mismo modo, el peso máximo que puede procesar el LC2 son 13,1 toneladas por bobina.

En cuanto a la caja del laminador, esta cuenta con 2 cilindros de apoyo de 1.360mm de diámetro y con 2 cilindros de trabajo de 850mm, con una configuración 4-High. La velocidad que estos últimos pueden transferir a la placa puede llegar hasta los 200m/min, con una velocidad rotativa de hasta 300rpm. Para ello, se utilizan 2 motores eléctricos de 2.500kW o 3.050CV cada uno de ellos. En cuanto a los cilindros de apoyo, encargados de aportar la fuerza de compresión a la banda, pueden ejercer una fuerza de hasta 2.800 toneladas.

Durante la laminación en caliente se realiza un corte de bordes de la banda de aluminio con objeto de eliminar irregularidades, material que comenzará de nuevo el proceso. A continuación, se adjunta una ilustración del LC2 y 2 bobinas saliendo de él.



Ilustración 38: Tren de laminación en caliente (LC2)

El producto obtenido tras pasar por el tren de laminación en caliente, como se ve en la ilustración superior, es la bobina, las cuales pasan a un almacén horizontal.

5.2.2.4. ALMACÉN HORIZONTAL (AH)

Llegadas desde el tren de laminación en caliente, y a la espera de ser enviadas al área de Laminación en Frío, las bobinas esperan en un almacén horizontal donde adquieren temperatura ambiente. Este almacén cuenta con 200 posiciones en un solo plano, de forma que el calor evacuado por las bobinas no afecte a bobinas colocadas encima de ellas. Las bobinas entran y salen del AH gracias a un puente grúa como se aprecia en la siguiente ilustración.

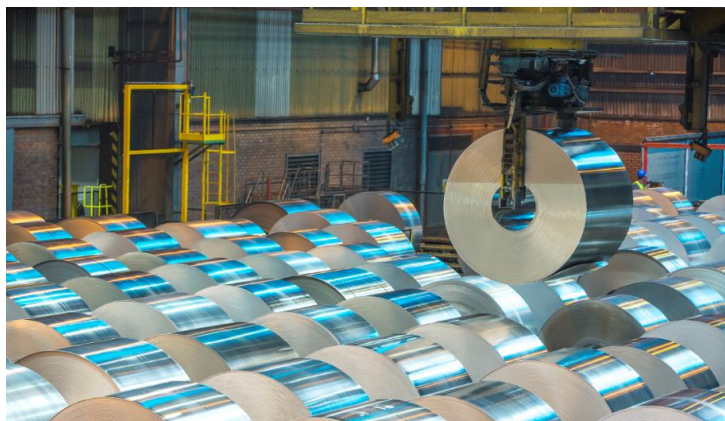


Ilustración 39: Almacén horizontal de bobinas (AH)

Antes de pasar al siguiente área, véase el diagrama de flujo de la zona de Laminación en Caliente:

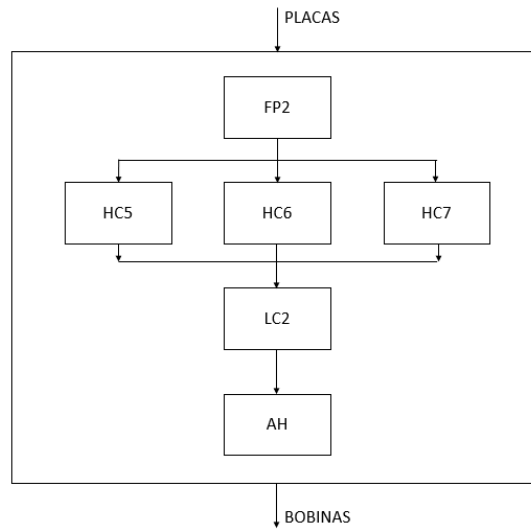


Ilustración 40: Diagrama de flujo Laminación en Caliente

5.2.3. LAMINACIÓN EN FRÍO

Las bobinas provenientes del tren de laminación en caliente, pasando por el almacén horizontal, pasan a la zona de Laminación en Frío. En esta zona es donde se centra el proyecto, por lo que su descripción será más profunda y se realizará en el apartado 5.3. Únicamente se adjunta el diagrama de flujo con el fin de completar los demás diagramas.

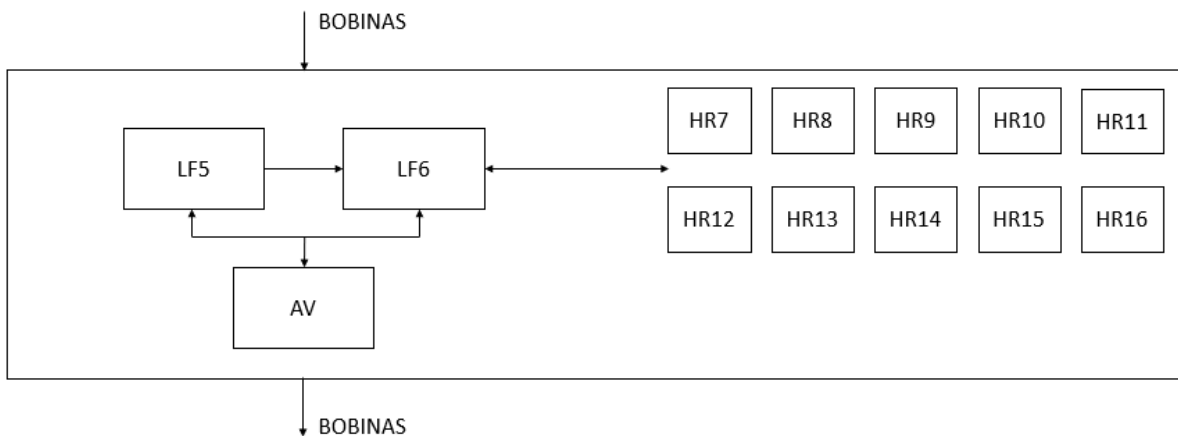


Ilustración 41: Diagrama de flujo Laminación en Frío

5.2.4. ACABADOS

Tras pasar por el área de Laminación en Frío, el último paso es el departamento de Acabados. Entre ambas áreas existe un almacén vertical de bobinas, del cual se nutre este área para realizar sus operaciones.

5.2.4.1. ALMACÉN VERTICAL (AV)

Este almacén cuenta con 616 posiciones, repartidas en 2 planos verticales con 54 posiciones en el eje horizontal y 6 posiciones en el eje vertical. Entre ambos planos se mueven 2 transelevadores automáticos para el movimiento de las bobinas. En la siguiente ilustración se aprecia el AV, así como una de las puertas por donde entran las bobinas transportadas por los carriles dispuestos en el suelo a lo largo de la fábrica.



Ilustración 42: Almacén vertical de bobinas (AV)

En este área lo que se hace es dar la forma final al producto. Como bien se ha dicho, Aludium se dedica a la fabricación de bobinas y chapas de aluminio, por lo que es aquí donde se consigue el aspecto final de estos elementos.

El área cuenta con 5 máquinas, 2 de ellas encargadas de los cortes longitudinales de las bobinas para conseguir rollos más estrechos, otras 2 encargadas de cortes transversales de las bobinas para la creación de chapas planas y una última máquina encargada de aplanar la banda de aluminio.

5.2.4.2. LÍNEAS DE CORTE LONGITUDINAL (CC10 Y CC11)

Las líneas de corte longitudinales son las encargadas de cortar las bobinas entrantes en bobinas o rollos más estrechos, ya sea cortando los bordes simplemente, o dividiéndolas en hasta 11 rollos estrechos. Este proceso se realiza desbobinando la bobina, realizando la operación de corte y bobinándola de nuevo. Todo el material sobrante de los cortes es reconducido a la Fundición donde comenzará de nuevo el proceso.

Para realizar dicho corte, la tecnología empleada es la cizalladura. La CC10 y la CC11 son capaces de ejercer hasta 345MPa y 350MPa respectivamente, de forma que pueden procesar espesores de banda entre los 0,15mm y los 3mm (CC10) y 0,15mm y 1,5mm (CC11).

A continuación, se adjunta una ilustración del interior de una de las máquinas, la CC11, donde se aprecia también la bobina cortada en las 11 tiras que formarán los rollos:



Ilustración 43: Línea de corte longitudinal (CC11)

5.2.4.3. LÍNEAS DE CORTE DE CHAPAS (CA4 Y CA5)

Las líneas de corte de chapas se encargan de conformar las chapas de aluminio. Se parte de una bobina, la cual se desbobina y se va cortando a la medida marcada por el cliente.

Los espesores que estas 2 máquinas trabajan están comprendidos entre 1mm y 6mm. Las dimensiones de salida de las chapas se mueven entre los siguientes valores: 600mm y 1.760mm de anchura; 1.000mm y 6.000mm de longitud. Para ello, cada máquina cuenta con 1.030kW de potencia.

Cabe destacar, que, conseguidas las chapas, la propia máquina se encarga de apilarlas llegando hasta una altura máxima de 750mm. Se adjunta una ilustración de la máquina CA4, y tras ella otra ilustración desde otro ángulo donde se ven varias chapas de aluminio ya cortadas.



Ilustración 44: Línea de corte de chapas (CA4)



Ilustración 45: Chapas cortadas en CA4

5.2.4.4. APLANADORA BAJO TENSION (AB1)

Por último, la aplanadora tiene como objetivo conseguir una superficie totalmente plana y uniforme, para aquellos clientes que necesiten una mayor calidad superficial. Además, esta máquina cuenta con un aparato muy preciso que analiza toda la banda en busca de defectos según se va aplanando.

Es capaz de procesar bandas entre 0,15mm y 2mm de espesor. Como se trata de una máquina aplanadora, cabe destacar el dato de tracción que esta es capaz de generar para conseguir la planeidad, 20 toneladas de tracción. De esta forma, la banda quedará perfectamente plana y enrollada sobre virolas o canutos de cartón, quedando lista para ser entregada.



Ilustración 46: Aplanadora bajo tensión (AB1)

El diagrama de flujo del área de Acabados sería el siguiente, completando ya el diagrama de todo el proceso productivo de la empresa. En el Anexo IV se puede encontrar un diagrama de flujo mucho más completo, donde se aprecian flujos de material y energía.

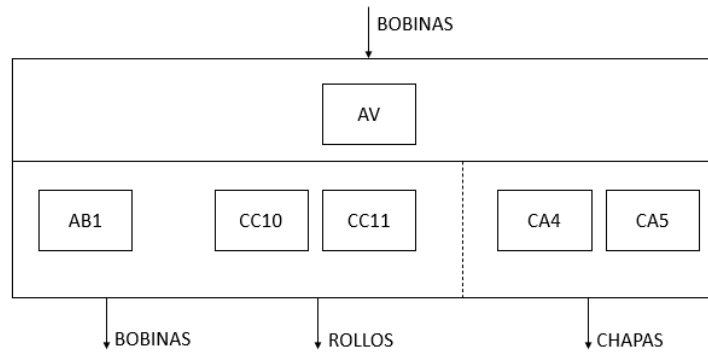


Ilustración 47: Diagrama de flujo Acabados

Conseguido el producto final, este se embala en papel, cartón, plástico o simplemente flejado antes de ser colocado en la zona de expediciones y que los camiones los transporten a los clientes.



Ilustración 48: Productos embalados

Por último, cabe destacar que el movimiento de las diferentes formas del aluminio por la planta se realiza mediante los siguientes elementos:

- Carros automáticos

La planta cuenta con una serie de carriles a cota cero que unen diferentes máquinas o zonas. Por estos carriles se desplazan los carros automáticos, los cuales disponen de un pequeño soporte donde se coloca la bobina para su transporte.



Ilustración 49: Carro automático y carril

- Puentes grúa

Otro de los elementos muy utilizados para el movimiento de las diferentes formas del aluminio son los puentes grúa, colocados estratégicamente a lo largo de toda la planta. En aquellas naves donde sea necesario mover bobinas o placas y la distribución de la misma no permita la utilización de los carros, existe un puente grúa con diferentes ganchos, según sea la tarea a realizar.

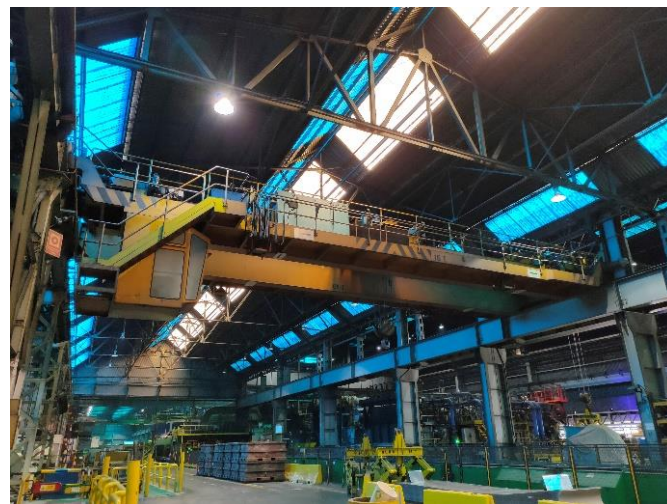


Ilustración 50: Puente grúa

- Carretillas elevadoras

Por último, uno de los elementos más utilizados es la carretilla elevadora. Este tipo de vehículos se utilizan para la carga y descarga de camiones, movimiento de diferentes elementos por la planta, etc. Se trata de carretillas elevadoras de gran potencia, ya que tienen que ser capaces de mover elemento de más de 10 toneladas.



Ilustración 51: Carretilla elevadora

Descrito cada una de las áreas, a continuación, se adjunta un lay-out sencillo de la planta de manera que el proceso productivo de Aludium quede totalmente claro.

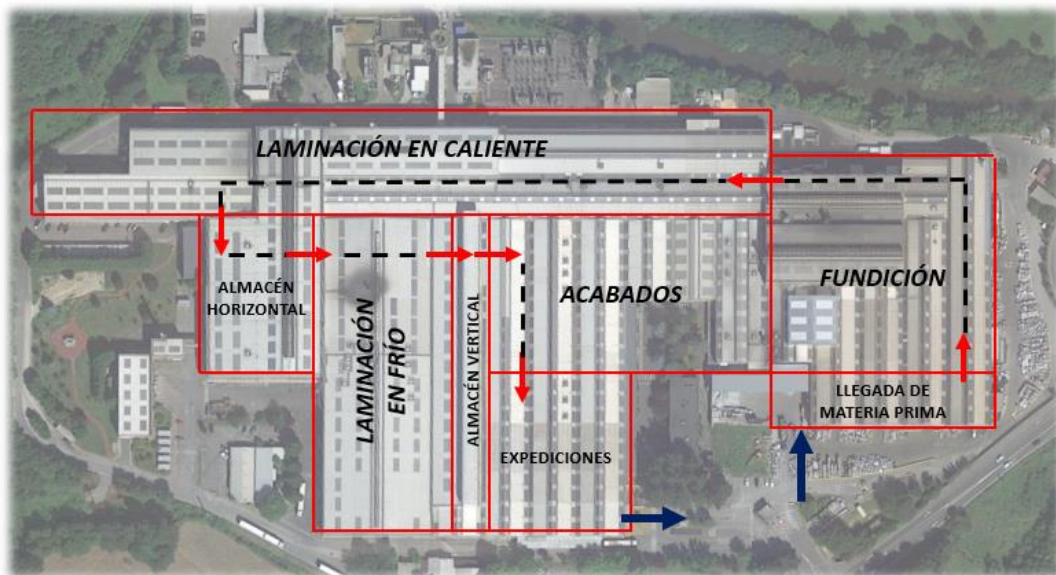


Ilustración 52: Lay-out de la planta Amorebieta

5.3. PROCESO DE LAMINACIÓN EN FRÍO DE ALUDIUM

Tras una ligera descripción del proceso productivo de Aludium, el siguiente apartado del documento se centrará en el área de Laminación en Frío, lugar donde se lleva a cabo el proyecto en cuestión. Se ha visto como el aluminio va cambiando su forma a medida que avanza por la planta, llegando a la Laminación en Frío en forma de bobina, la cual ha sido almacenada previamente en el almacén horizontal.

En función del tipo de producto final, en este área se someterá a la bobina a una serie de operaciones, entre las cuales están la laminación y el recocido. Para ello, la zona de Laminación en Frío

se divide en 3 máquinas o zonas: Laminador en Frío 5, Laminador en Frío 6 y Hornos de Recocido. Además de estas, como ya se ha comentado, se dispone del almacén vertical de bobinas (AV) desde el cual se van nutriendo las máquinas a medida que las bobinas avanzan por el proceso.

5.3.1. LAMINADOR EN FRÍO 5 (LF5)

Tras la reducción de espesor sometida a las placas en el tren de laminación en caliente, las bobinas son llevadas al almacén horizontal ya descrito. Allí, las bobinas evacuan el calor al que se les había sometido para dicha operación y el generado en esta.

Una vez pasado el tiempo necesario, las bobinas son transportadas por un puente grúa hasta la zona de los carros automáticos, los cuales la mayor parte de las veces las dirigirán de manera automática hasta el LF5.

El LF5 posee una configuración de cilindros 4-High, vista en el apartado 5.1.1., capaz de laminar aluminio con un espesor máximo de 10mm y un espesor mínimo de 1,5mm. Esta máquina, normalmente, tiene la función de generar mucha reducción sin garantizar una calidad superficial perfecta, lo que se conoce en la fábrica como dar pasadas de “preparar”. Esto es equivalente a un desbaste en mecanizado.

En cuanto a anchos de banda, el LF5 puede procesar desde los 1.450mm hasta los 700mm. El diámetro exterior de la bobina debe estar entre los 2.000mm y 800mm, y el peso de la bobina no debe ser mayor de 10,8 toneladas.



Ilustración 53: Laminador en Frío 5 (LF5)

Para describir el LF5 de la manera más clara posible se dividirá la máquina en 4 zonas:

5.3.1.1. ROCADE

Llegadas al área de Laminación en Frío, las bobinas esperarán en lo que se conoce como la rocade de la máquina. Este elemento es el carril de rodillos automáticos donde las bobinas esperan para ser laminadas y por donde se mueven desde la salida a la entrada de la máquina. En la ilustración anterior se muestra el LF5 y la rocade con una bobina. Para poder mover estas bobinas es necesario apoyarla en elementos que sirvan como base, para lo que se utilizan paletas.

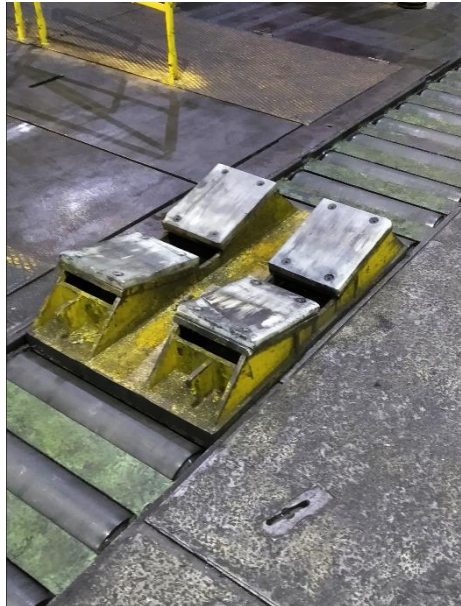


Ilustración 54: Paleta LF5 sobre el carril de rodillos

5.3.1.2. DESBOBINADORA

Con la bobina en la posición de entrada del LF5 comienza su proceso de laminación en frío. Un carro situado en la entrada de la máquina recoge la paleta por su parte inferior y transporta la bobina hasta el mandrino de la desbobinadora, el cual se introducirá en el hueco interior ocupado por la virola de acero previamente mencionada. Este mandrino tiene un diámetro de 485mm, con la capacidad de expandirse hasta los 605mm.

Con la bobina colocada en la desbobinadora, el carro de entrada se retrae a su posición inicial y el mandrino se expande para fijar perfectamente la bobina. Mediante una presión de 55bar, el mandrino expandido impide que el conjunto de bobina y virola deslicen respecto del mandrino al aplicar la tensión de retención a la banda de aluminio en su laminación.

La desbobinadora cuenta con 2 motores eléctricos con las siguientes prestaciones:

Tabla 1: Tabla prestaciones motor desbobinadora LF5

	Valor	Unidades
Potencia	2x145	kW
	2x197	CV
Velocidad 1	220	m/min

Velocidad 2	500	m/min
Velocidad de giro	0-350-1.400	rpm
Retención	hasta 90	kN

NOTA: en el Anexo I se adjunta un plano del LF5 donde se ve la desbobinadora.

5.3.1.3. CAJA

Cuando se habla de caja se habla sobre la parte principal del laminador, es decir, donde se produce la reducción de espesor de la banda de aluminio. Los aspectos importantes en los que se basa esta reducción son los descritos en el apartado 5.1.

Según se va desbobinando la banda de aluminio, esta se introducirá en el laminador. Esta parte de la máquina está compuesta por una serie de cilindros y rodillos encargados de reducir el espesor de la banda, además de muchos más elementos tales como sensores, medidores de espesor, boquillas de lubricación, etc.

En esta parte principal destacamos 2 tipos de cilindros:

- Cilindro de trabajo (CT)

Son aquellos que están en contacto con la banda de aluminio. Se trata de cilindros de acero de 450mm de diámetro, los cuales a medida que se van desgastando y rectificando, para garantizar siempre un acabado superficial bueno de la banda, pueden llegar a un diámetro mínimo de 410mm.



Ilustración 55: Cilindros de trabajo

- Cilindro de apoyo (CA)

Los cilindros de apoyo son aquellos que aportan la rigidez a los cilindros de trabajo. Se trata de cilindros de 1.100mm de diámetro, que al igual que los de trabajo pueden llegar a medir 1.000mm debido al rectificado de su superficie.



Ilustración 56: Cilindro de apoyo

Estos cilindros son los encargados de someter al aluminio a un apriete de hasta 1.300 toneladas, para el cual se utiliza un sistema hidráulico, descrito en el apartado 5.1.3.

Aparte de la fuerza de compresión generada por el sistema hidráulico, es necesario que los cilindros de trabajo giren para desplazar la banda de aluminio. Para este giro se cuenta con un motor en cada uno de los cilindros de trabajo con las siguientes características:

Tabla 2: Tabla prestaciones motor caja LF5

	Valor	Unidades
Potencia	2x920	kW
	2x1.250	CV
Velocidad 1	0-100-250	m/min
Velocidad 2	0-240-600	m/min
Velocidad de giro	0-500-1.250	rpm
Par máx.	25,43	Tnm

NOTA: en el Anexo I se adjunta un plano en detalle de la caja.

Aparte de los cilindros que comprimen el material, se utilizan una serie de rodillos encargados de guiar, tensionar y aplanar la banda a medida que se va introduciendo en el laminador. Se trata de

varios rodillos de 140mm de diámetro. En concreto el LF5 tiene 6 rodillos prensa colocados de forma estratégica para dar esa tensión y esa planeidad necesaria a la banda.



Ilustración 57: Rodillos prensa

NOTA: en el Anexo I se adjunta un plano en detalle de los rodillos prensa, cilindros de trabajo y cilindros de apoyo, además de los planos del laminador donde se aprecia su configuración.

5.3.1.4. BOBINADORA

Tras pasar por la caja del laminador el espesor de la banda de aluminio ya ha sido reducido, por lo que se pasa a enrollar dicha banda alrededor de una virola para conseguir de nuevo una bobina. Esta parte del laminador es similar a la parte de la desbobinadora, por lo que la siguiente ilustración es extrapolable a la desbobinadora si se cambia el sentido de giro.



Ilustración 58: Bobinadora LF5

Se cuenta con un mandrino de 600mm de diámetro en el cual se coloca previamente una virola. Como en la zona de la desbobinadora, este mandrino se expande con una presión de 55bar para fijar perfectamente la virola y evitar el giro relativo respecto del mandrino. En este caso es capaz de expandirse hasta los 615mm.

Al contrario que en la desbobinadora, la bobinadora ejerce una tracción en contraposición a la retención ejercida en la otra zona para generar la tensión necesaria en la banda. La bobinadora cuenta con 2 motores eléctricos con las siguientes características:

Tabla 3: Tabla prestaciones motor bobinadora LF5

	Valor	Unidades
Potencia	2x368	kW
	2x500	CV
Velocidad 1	250	m/min
Velocidad 2	600	m/min
Velocidad de giro	0-270-1.000	rpm
Tracción	hasta 170	kN

NOTA: en el Anexo I se adjunta un plano del LF5 donde se ve la bobinadora.

Como elementos guía para la banda se dispone de un enrollador por correas, que será el elemento encargado de enrollar las primeras espiras sobre la virola para que generen la suficiente tracción como para que no se desenrolle la bobina. Es un elemento que avanza hacia la bobinadora cuando se aproxima la banda, y se retrae cuando ya se han enrollado las primeras espiras. Mediante unas correas flexibles se rodea a la virola y se guía la banda por todo su perímetro.

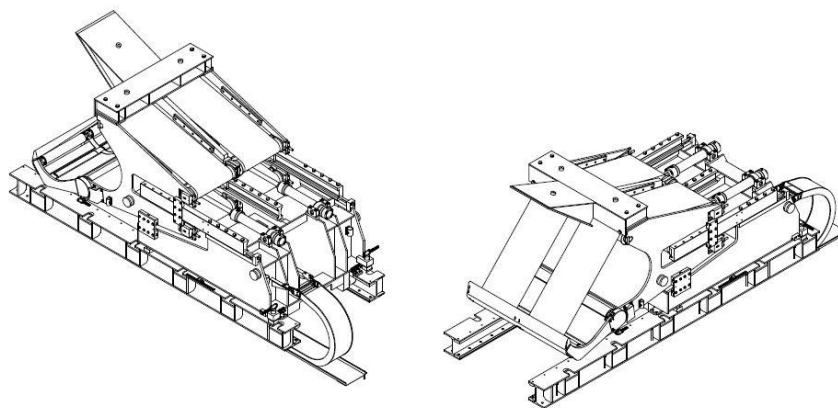


Ilustración 59: Envolvedor por correas

Con toda la banda ya enrollada sobre la virola, el mandrino se contrae y mediante un carro de salida idéntico al carro de entrada de la desbobinadora, se saca la bobina del laminador a la rocade. Allí, la bobina se puede desplazar tanto a la entrada del LF5 para someterse a otra pasada en esta

misma máquina, como a uno de los carros automáticos que la llevarán al almacén vertical. En el AV la bobina esperará a la siguiente operación, que normalmente será la laminación en frío en el LF6.

5.3.2. LAMINADOR EN FRÍO 6 (LF6)

Partiendo del AV, las bobinas llegan al LF6 sobre pequeños carros automáticos que su único recorrido es entre el laminador y el AV. Una vez en la entrada del laminador, el procedimiento de laminación al que se somete a la bobina es igual al del LF5.

Para esta máquina, el rango de espesores que es capaz de laminar está entre los 4 y 0,15mm. Si el LF5 tiene como misión principal dar las pasadas de “preparar”, el LF6 es el encargado de dar las pasadas finales con objeto de proporcionar una mejor calidad. Esto se conoce como dar pasadas de “terminar”, lo que es equivalente al acabado en mecanizado.

En cuanto a anchos de banda, el LF6 puede trabajar desde los 1.800mm hasta los 800mm. El diámetro exterior de la bobina debe estar entre los 2.000mm y 1.000mm, y el peso del conjunto bobina-virola no debe ser mayor de 15 toneladas.



Ilustración 60: Laminador en frío 6 (LF6)

5.3.2.1. ROCADE

Al igual que el LF5, el LF6 también dispone de una zona donde las bobinas esperan para ser laminadas. En este caso, sin embargo, no son los carros automáticos vistos anteriormente los que traen las bobinas hasta la máquina, sino las propias paletas que recogen la bobina del AV.

Otro cambio respecto al rocade del LF5 es que el carril de rodillos se encuentra oculto bajo el suelo, de forma que las paletas que transportan las bobinas se mueven por 2 ranuras. Esta configuración es más cómoda para el tránsito de personas. Las paletas en este caso tienen una forma diferente, pero el fin es el mismo.



Ilustración 61: Paletas LF6 sobre el carril de rodillos

5.3.2.2. DESBOBINADORA

El procedimiento de colocación de la bobina en la desbobinadora es exactamente el mismo que el procedimiento llevado a cabo en el LF5. Se introduce la bobina en el mandrino de 545mm de diámetro, este se expande para fijarla, el carro de entrada se retira y se empieza a desbobinar la bobina.

La presión de actuación de las tejas del mandrino al expandirse es de unos 55bar llegando hasta los 605mm de diámetro, y cuenta con 2 motores eléctricos con las siguientes características:

Tabla 4: Tabla prestaciones motor desbobinadora LF6

	Valor	Unidades
Potencia	2x750	kW
	2x1.000	CV
Velocidad	1.250	m/min
Velocidad de giro	0 – 4.000	rpm
Retención	hasta 72	kN

NOTA: en el Anexo I se adjunta un plano del LF6 donde se ve la desbobinadora.

5.3.2.3. CAJA

A medida que la banda se desenrolla, esta avanza hasta llegar al conjunto de rodillos y cilindros encargados de reducir su espesor. La forma de laminación del LF6 es similar a la del LF5, por lo que los elementos utilizados tienen la misma función, solo que varían en su geometría. La configuración de los cilindros también es la misma, 4-High:

- Cilindro de trabajo (CT)

En contacto con la banda de aluminio. Se trata de cilindros de acero de entre 440mm y 400mm de diámetro.

- Cilindro de apoyo (CA)

Aportan la presión para llevar a cabo la reducción del espesor del aluminio. Se trata de cilindros de entre 1.250mm y 1.150mm de diámetro. Estos cilindros son los encargados de someter al aluminio a un apriete de 1.600 toneladas, para el cual se utiliza un sistema hidráulico.

La caja cuenta con un motor en cada uno de los cilindros de trabajo con las siguientes características:

Tabla 5: Tabla prestaciones motor caja LF6

	Valor	Unidades
Potencia	2x2.500	kW
	2x3.353	CV
Velocidad	1.650	m/min
Velocidad de giro	0 – 7.500	rpm
Par máx.	30	Tnm

NOTA: en el Anexo I se adjunta un plano en detalle de la caja

Por otro lado, en este caso los rodillos prensa tienen un diámetro de 200mm. Su función es la misma que en el LF5, aportar tensión y planeidad a la banda, pero aquí solo se cuenta con solo 4 rodillos.

La apariencia de estos 3 elementos es la misma que los rodillos y cilindros del LF5, por lo que sus respectivas ilustraciones son extrapolables a este caso.

NOTA: en el Anexo I se adjunta un plano en detalle de los rodillos prensa, cilindros de trabajo y cilindros de apoyo, además de los planos del laminador donde se aprecia su configuración.

5.3.2.4. BOBINADORA

Con la banda ya laminada, esta sale de la caja en dirección a la bobinadora, donde le espera la virola sobre la cual se enrollará colocada en el mandrino. Para fijar dicha virola, el mandrino se expande con una presión de 55bar. Este mandrino tienen un diámetro de 545mm sin expandir y un diámetro de 605mm expandido.



Ilustración 62: Bobinadora LF6

Como pasaba en el LF5, para guiar la banda es necesario un elemento llamado enrollador por correas. Este elemento hará que la banda circule alrededor de la virola de forma que al generarse la segunda espira la banda quede perfectamente unida a la virola.

Para que sea posible el giro del mandrino, este cuenta con 3 motores eléctricos con las siguientes características:

Tabla 6: Tabla prestaciones motor bobinadora LF6

	Valor	Unidades
Potencia	3x807	kW
	3x1.082	CV
Velocidad 1	1.815	m/min
Velocidad de giro	0 – 6.000	rpm
Tracción	hasta 80	kN

NOTA: en el Anexo I se adjunta un plano del LF6 donde se aprecia la bobinadora.

Terminado este proceso, la bobina ya habría sido sometida a las operaciones tanto en el LF5 como en el LF6, por lo que en cuanto a espesor la bobina ya estaría lista. Su siguiente destino será el área de Acabados, donde se le dará la forma final al producto.

5.3.3. HORNOS DE RECOCIDO (HR)

No obstante, el aluminio debe garantizar una serie de prestaciones mecánicas, por lo que puede que sea necesario someter a las bobinas a ciertos procesos térmicos para garantizar dichas

prestaciones. Puede darse el caso que sea necesario someter a las bobinas a tratamientos térmicos entre las diferentes operaciones de laminación, o que ese tratamiento se dé una vez se tenga la bobina final con el espesor final.

A medida que la banda de aluminio se va laminando, la dureza de la misma aumenta por la deformación a la que se la está sometiendo, por lo que puede que sea interesante reducir dicha dureza para seguir reduciendo su espesor.

Como se vio en el apartado 5.1., esto se consigue sometiendo a las bobinas a procesos de recocido, en los cuales se genera la recristalización de sus granos, devolviendo el material a sus condiciones iniciales. Para ello, se utilizan hornos de recocido y cámaras de enfriamiento como los que se aprecian en la siguiente ilustración:



Ilustración 63: Horno de recocido (HR) y mesa cargadora introduciendo bobinas en cámara de enfriamiento

5.3.3.1. HORNOS DE RECOCIDO

La empresa cuenta con 10 hornos de recocido, los cuales podemos dividir en 2 grupos según su fuente de alimentación:

- Hornos eléctricos

Se cuenta con 3 hornos de tipo eléctrico: HR7, HR8 y HR9. Trabajan en un rango de temperaturas entre los 150°C y los 550°C. Tienen una potencia de unos 2500kW y una capacidad de 3 bobinas más el peso de los bastidores donde estas se soportan.

- Hornos a gas natural

De este segundo tipo de hornos la empresa cuenta con 7 unidades, desde el HR10 al HR16. Estos hornos trabajan en un rango de temperaturas entre los 180°C y los 500°C, utilizando 18 quemadores. Tienen una capacidad de 45 toneladas, lo que equivale a no más de 3 bobinas en su interior y su potencia es de unos 2.000kW.

5.3.3.2. CÁMARAS DE ENFRIAMIENTO

Además de los hornos, Aludium cuenta con 15 cámaras de enfriamiento, que como su propio nombre indica, son utilizadas tras el recocido para extraer mediante ventiladores el calor evacuado por las bobinas y que estas adquieran temperatura ambiente más rápido que de forma natural.



Ilustración 64: 3 cámaras de enfriamiento (CE) y 3 hornos de recocido (HR)

Como ya se ha mencionado, puede que se someta a las bobinas a tratamientos térmicos durante su proceso de laminación o una vez ya hayan terminado este proceso, por lo que los hornos se nutrirán también de las bobinas almacenadas en el AV. Estas llegan a la zona de los hornos en los carros automáticos desplazados por carriles dispuestos por la fábrica.

Los hornos y las cámaras de enfriamiento están dispuestos en 3 filas enfrentadas entre sí, con 2 zonas centrales libres por la cual se desplazan 2 cargadoras encargadas de introducir las bobinas en los hornos. Esta cargadora se aprecia en la ilustración 64. Las bobinas llegan en los carros y mediante un puente grúa estas se trasvasan a la mesa cargadora, la cual tiene una capacidad de 3 posiciones.

Esta mesa se encarga de introducir las 3 bobinas dentro de los hornos, donde se las someterá al tratamiento térmico pertinente para conseguir las características mecánicas deseadas. Terminado el tratamiento térmico, se da por concluido el proceso de laminación en frío y las bobinas ya están totalmente listas para pasar al área de Acabados.

6. ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE ALUDIUM

Conocido el proceso productivo de la empresa Aludium, y estudiado a fondo el proceso de laminación en frío, en el siguiente apartado se realizará el análisis de la producción del 2020, de forma que ilustre aquellos procesos capaces de aumentar la productividad de la planta. Como se dijo, el primer objetivo marcado en el proyecto es analizar los procesos susceptibles de aumentar su eficiencia.

A lo largo del documento ya se ha mencionado que Aludium se encarga de fabricar tanto bobinas como chapas de aluminio. Según sea el tipo de producto, las chapas y las bobinas serán de un largo, un ancho y un espesor determinados. Para identificar los diferentes productos que Aludium produce, cada uno de ellos tiene asociado un identificador llamado “Item”, compuesto por letras y números y con la siguiente forma: *CR12345*. Se podría comparar el Item con un apellido, es decir, una forma de identificar una familia de productos.

Todos aquellos elementos que tengan asociado este número serán exactamente iguales, es decir, misma aleación, mismo espesor, misma forma (bobinas o chapas) y, por supuesto, mismo proceso productivo. Identificado el producto, para diferenciar todas las bobinas que van recorriendo el proceso productivo de la empresa, se utiliza otro código llamado “Shop Order” o “Numero de pedido”. Este está compuesto por 6 números: *123456*. Este, haciendo el mismo símil, sería el nombre de la bobina, que, complementado con el apellido dejaría el producto perfectamente identificado.

Dicho esto, en este análisis lo que se va a hacer es buscar qué tipo de productos son los más fabricados, es decir, los Items con más cantidad de Shop Orders. De esta manera, si se consigue aumentar la eficiencia de los procesos productivos de esos Items, el aumento de productividad experimentado será el mayor posible.

La producción de Aludium es variada en función de si sus productos son bobinas completas, rollos de menor tamaño o chapas, pero aguas arriba del proceso, en concreto en el área de Laminación en Frío, la única forma del aluminio es la bobina. Dicho esto, el documento se centrará únicamente en la producción del área de Laminación en Frío, por lo que se hablará solo de bobinas y se dejará de lado el tipo de producto final.

En el año 2020 la producción del área de LF fue de 24.768 bobinas. A una media de 7.500kg por bobina, hace que la producción fuese de 185.760 toneladas. La empresa trabaja 351 días al año, las 24 horas del día, por lo que LF produce 22 toneladas a la hora, o lo que es lo mismo, más o menos 3 bobinas a la hora.

Todas estas bobinas, se dividen en diferentes aleaciones, entre las que destacan las siguientes:

- **3005**

Se trata de una aleación cuyo elemento aleante principal es el manganeso. Este aporta mayor resistencia mecánica al aluminio, pero con el precio de reducir su ductilidad.

- **5754**

El principal elemento aleante en este caso es el magnesio. Este aporta una mayor ductilidad, es decir, una mayor capacidad a la deformación sin llegar a la rotura.

- **5005**

Esta, de nuevo, como pertenece a la familia 5000, tiene como aleante principal al magnesio, dándole este elemento las características mecánicas ya mencionadas.

- **8079**

Este caso se trata de una aleación un tanto especial. El hierro y el níquel son los aleantes principales y debido a los cuales esta aleación tiene una gran dureza además de una buena capacidad a la deformación, es decir, ductilidad.

Aleaciones más producidas

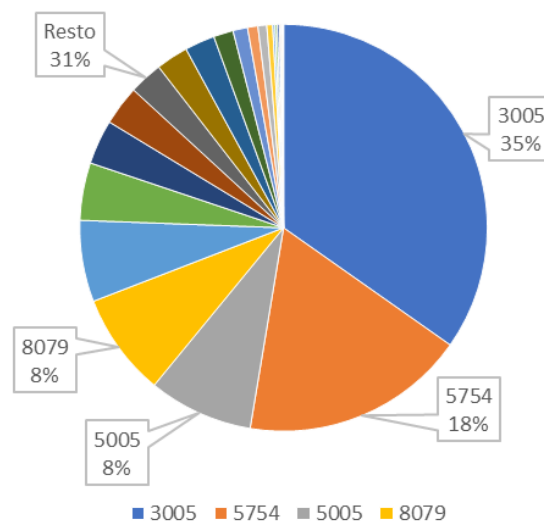


Gráfico 1: Aleaciones más producidas

De las 24.738 bobinas producidas, las aleaciones mencionadas componen el 69% de ellas, es decir, 17.090. Entre ellas se destacarán las aleaciones 3005 y 8079, que como se verá a continuación, son las aleaciones que componen los productos más fabricados.

Como se mencionó anteriormente, las bobinas cuentan con una Shop Order y con un Item, o lo que es lo mismo, un nombre y un apellido. Dicho esto, entre todas bobinas que han pasado por LF, existen varias familias de bobinas (Items) con una mayor proporción de unidades (Shop Order)

fabricadas. A continuación, se describirán esta clase de Items y su proceso productivo en el área de LF, con objeto de encontrar donde se pueden mejorar.

Pero antes, es oportuno comentar que en función de si el material es duro (DD) o recocido (RR) (como se ha explicado en el apartado 5.1.), la reducción que se le da es diferente. Se dispone de una consigna de reducciones teóricas máximas en función de la aleación del aluminio, de la dureza (DD o RR) y de diferentes condicionantes como anchos, espesores y la propia máquina donde se lamina. Esta consigna se ha obtenido internamente en la empresa en base a experiencia en el sector y en procesos ya probados, se encuentra en el Anexo II y es en la cual se basa el documento para los cálculos posteriores.

6.1. CR11082

Se trata de una familia de bobinas que parten de una aleación 8079. Según la producción del 2020, de este tipo de productos se fabricaron 735 unidades o bobinas, siendo la más producida. Su proceso productivo es el siguiente (el proceso previo y posterior no es relevante, destacando únicamente las operaciones de LF):

1. *PROCESO PREVIO (fundición – laminación en caliente)*
2. Almacén horizontal AH
3. **Laminación en frío LF5**
4. Almacén vertical AV
5. **Laminación en frío LF6**
6. Almacén vertical AV
7. **Laminación en frío LF6**
8. Almacén vertical AV
9. **Horno de recocido HR**
10. Almacén vertical AV
11. **Laminación en frío LF6**
12. *PROCESO POSTERIOR (acabados)*

Se ve como esta clase de bobinas tiene 4 pasadas, de las cuales 1 se hace en el LF5 y 3 en el LF6. Además, cuenta con una operación de recocido, la cual reducirá en gran cantidad la dureza generada en las pasadas previas, con el fin de proporcionar una pasada más al aluminio.

Estas bobinas provienen del área de Laminación en Caliente con un espesor de 8mm, y tienen que salir hacia el área de Acabados con un espesor de 0,4mm, para lo cual se les dan las siguientes reducciones por pasada:

Tabla 7: Tabla reducciones CR11082

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada	4ª pasada
Máquina	LF5	LF6	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC)	DD	DD	RR
Espesor entrada [μm]	8.000	3.550	1.580	700
Espesor salida [μm]	3.550	1.580	700	401
Reducción real	55,625%	55,493%	55,696%	42,714%
Reducción teórica máx.	62%	62%	62%	58%

Comparando los valores de las reducciones reales y teóricas, se ve como la reducción llevada a cabo es menor de lo que se podría, por lo que puede que aumentando esta, se consiga llegar al espesor final con una pasada menos. Esto se analizará, teniendo otros factores en cuenta, en el siguiente punto.

6.2. CR12062

La siguiente familia de bobinas está compuesta por una aleación 3005. La cantidad producida en el 2020 de este tipo de bobinas es de 540, siendo la segunda familia más fabricada. El proceso productivo de este Item es el siguiente:

1. PROCESO PREVIO (*fundición – laminación en caliente*)
2. Almacén horizontal AH
3. **Laminación en frío LF5**
4. **Laminación en frío LF5**
5. Almacén vertical AV
6. **Laminación en frío LF6**
7. Almacén vertical AV
8. **Laminación en frío LF6**
9. Almacén vertical AV
10. **Horno de recocido HR**
11. Almacén vertical AV

12. Laminación en frío LF6

13. PROCESO POSTERIOR (acabados)

Se somete a 5 pasadas de laminación en frío a este tipo de bobinas, las 2 primeras en el LF5 y las 3 últimas en el LF6. Antes de la pasada final, se somete a las bobinas a un proceso de recocido para la recristalización de sus granos.

Los espesores de entrada y salida del área de LF son 7mm y 0,68mm respectivamente, dándoles las siguientes reducciones de espesor al aluminio:

Tabla 8: Tabla reducciones CR12062

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada	4ª pasada	5ª pasada
Máquina	LF5	LF5	LF6	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	DD	DD	RR
Espesor entrada [μm]	7.000	4.000	2.421	1.424	837
Espesor salida [μm]	4.000	2.421	1.424	837	680
Reducción real	42,857%	39,475%	41,181%	41,222%	18,757%
Reducción teórica máx.	46%	45%	45%	44%	50%

Aquí, de nuevo, se ve como la reducción real tiene margen de aumento hasta llegar a la reducción teórica. Por lo tanto, a simple vista, este ítem es esperanzador y es posible que se pueda aumentar la eficiencia de su proceso productivo.

6.3. CR11302

La última familia que entra en el pódium de más fabricadas es la familia CR11302 que cuenta con 317 bobinas por año. La aleación de aluminio empleada es la 8079.

Este caso tiene una particularidad, ya que para una misma familia de bobinas existen 2 tipos de procesos productivos. El primero de ellos contará con 121 bobinas de las 317 mencionadas y su proceso productivo es el siguiente:

1. PROCESO PREVIO (fundición - laminación en caliente)
2. Almacén horizontal AH
3. Laminación en frío LF5
4. Almacén vertical AV
5. Laminación en frío LF6

6. Almacén vertical AV
- 7. Laminación en frío LF6**
8. Almacén vertical AV
- 9. Horno de recocido HR**
10. Almacén vertical AV
- 11. Laminación en frío LF6**
12. PROCESO POSTERIOR (acabados)

El proceso está compuesto por una primera pasada en el LF5, y después 3 pasadas en el LF6. La operación de recocido en este caso es antes de la última pasada en LF6.

El espesor de entrada con el que viene del área de LC es de 8mm y sale hacia el área de Acabados con un espesor de 0,35mm. Las reducciones aplicadas son las siguientes:

Tabla 9: Tabla reducciones CR11302 (1)

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada	4ª pasada
Máquina	LF5	LF6	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	DD	RR
Espesor entrada [μm]	8.000	3.550	1.580	700
Espesor salida [μm]	3.550	1.580	700	350
Reducción real	55,625%	55,493%	55,696%	50%
Reducción teórica máx.	62%	62%	62%	58%

La reducción teórica para esta aleación es bastante elevada, y se ve como existe un gran margen de mejora. Por lo tanto, este primer proceso productivo tiene gran probabilidad de poder aumentar su eficiencia.

El segundo proceso de este Item no parece que sea así. Este cuenta con 196 bobinas y es el siguiente:

1. PROCESO PREVIO (fundición - laminación en caliente)
2. Almacén horizontal AH
- 3. Laminación en frío LF6**
4. Almacén vertical AV
- 5. Laminación en frío LF6**
6. Almacén vertical AV

7. **Horno de recocido HR**
8. Almacén vertical AV
9. **Laminación en frío LF6**
10. *PROCESO POSTERIOR (acabados)*

Este caso elimina la pasada en el LF5, ya que el espesor de entrada con el que vienen de LC es de 4mm. Es decir, en vez de someter a la bobina a una primera pasada de gran reducción en el LF5, ya se ha sometido a esa reducción en el área de LC. Las reducciones son las siguientes:

Tabla 10: Tabla reducciones CR11302 (2)

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada
Máquina	LF6	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	RR
Espesor entrada [μm]	4.000	1.700	700
Espesor salida [μm]	1.700	700	350
Reducción real	57,5%	58,82%	50%
Reducción teórica máx.	57,5%	62%	58%

Se ve como las reducciones son más parejas, por lo que seguramente no se pueda optimizar este proceso. No obstante, en el siguiente apartado se analizarán cada uno de ellos detenidamente.

6.4. CR12104

Ya con bastantes menos unidades fabricadas, 124, se tiene la familia CR12104, para la cual se utiliza un aluminio de aleación 3005. En comparación con los otros Items es menor, pero aun así con capacidad de aumentar la productividad del área de LF.

El proceso productivo de esta familia de bobinas es el siguiente:

1. *PROCESO PREVIO (fundición – laminación en caliente)*
2. Almacén horizontal AH
3. **Laminación en frío LF5**
4. Almacén vertical AV
5. **Laminación en frío LF5**
6. Almacén vertical AV

7. **Laminación en frío LF6**
8. Almacén vertical AV
9. **Horno de recocido HR**
10. Almacén vertical AV
11. **Laminación en frío LF6**
12. *PROCESO POSTERIOR (acabados)*

El proceso está compuesto por 2 pasadas iniciales en el LF5 y 2 pasadas finales en el LF6, con su respectivo recocido antes de la pasada final. Los espesores con los que se trabaja son 7mm en la entrada y 1,47mm en la salida de LF. Las reducciones impuestas al proceso son las siguientes:

Tabla 11: Tabla reducciones CR12104

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada	4ª pasada
Máquina	LF5	LF5	LF6	LF6
Tipo	DD (LC2)	DD	DD	RR
Espesor entrada [µm]	7.000	4.482	2.870	1.837
Espesor salida [µm]	4.482	2.870	1.837	1.470
Reducción real	35,971%	35,966%	35,993%	19,978%
Reducción teórica máx.	46%	45%	45%	45%

Este Item sí que tiene posibilidades de aumentar su eficiencia. La diferencia entre las reducciones de espesor reales y teóricas es bastante amplia, por lo que el margen de mejora es notable.

6.5. CR10439

Por último, el quinto Item a analizar es el CR10439. El número de bobinas fabricadas para este es de 119 unidades, cantidad pequeña en comparación, pero suficientemente grande como para que la mejora de productividad sea notable. Su aleación es la 3005 y el proceso productivo es el siguiente:

1. *PROCESO PREVIO (fundición – laminación en caliente)*
2. Almacén horizontal AH
3. **Laminación en frío LF5**
4. **Laminación en frío LF5**
5. Almacén vertical AV

6. Laminación en frío LF6

7. Almacén vertical AV

8. Horno de recocido HR

9. Almacén vertical AV

10. Laminación en frío LF6

11. PROCESO POSTERIOR (acabados)

El proceso está compuesto por 2 pasadas iniciales en el LF5 y 2 pasadas finales en el LF6, con un recocido justo antes de la última pasada. El espesor de entrada en LF es de 7mm y el de salida de 0,970mm. Las reducciones a las que se le somete a la banda son las siguientes:

Tabla 12: Tabla reducciones CR10439

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada	4ª pasada
Máquina	LF5	LF5	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	DD	RR
Espesor entrada [μm]	7.000	3.800	2.394	1.410
Espesor salida [μm]	3.800	2.394	1.410	970
Reducción real	45,714%	37%	41,103%	31,206%
Reducción teórica máx.	46%	45%	45%	45%

En esta otra familia, como en las anteriores, la reducción real es menor a la teórica, por lo que hay margen de mejora. Pero, alguna de las pasadas tiene ya una reducción bastante elevada, por lo que, para este caso quizá sea más difícil eliminar una de las pasadas.

Analizados los 5 Items más fabricados en el año 2020, habiendo realizado un análisis preliminar de la posibilidad de aumentar la eficiencia de sus procesos de fabricación, en el siguiente apartado se verificará la idoneidad de llevar a cabo esos aumentos.

7. MEJORA DE LOS PROCESOS

Ya se conocen cuáles son los principales productos susceptibles para mejorar, se ha explicado su proceso productivo y se han indicado las reducciones a las que se les somete. Ahora es el turno de mejorar dichos procesos.

Para ello, aparte de aumentar sus reducciones a los máximos teóricos, se tendrán que cumplir varias condiciones. Una de ellas es la limitación de espesor y ancho de cada una de las máquinas. El LF5 es capaz de procesar espesores desde los 10mm hasta los 1,5mm, por lo que será necesario verificar que para las nuevas reducciones eso se cumple. También existe la condición de que el ancho no debe ser mayor a 1580mm y menor de 800mm. En cuanto al LF6, es capaz de laminar espesores entre los 4mm y los 0,15mm, y anchos entre los 1.800mm y 800mm. Para no verificar cada una de las cifras en las siguientes tablas, se indica desde ya que esta condición se cumple en todo momento. Estas condiciones se adjuntan en el Anexo III.

La otra condición será que el espesor de entrada en los hornos de recocido se debe mantener. Esto es importante ya que de no mantenerse sería necesario modificar los tratamientos a los que se somete a las bobinas en función de sus nuevos espesores, trabajo que quedaría fuera del alcance del proyecto. Por lo tanto, será una variable muy limitante.

Dicho esto, a continuación, se analizará cada uno de los productos vistos en el apartado anterior, e imponiendo las condiciones mencionadas se verificará la idoneidad para la mejora de sus procesos productivos.

7.1. CR11082

Como se ha mencionado, el Item CR11082 entra en el área de Laminación en Frío con 8mm de espesor y debe abandonar con 0,401mm. Para ello, antes se daban 4 pasadas, 1 en el LF5 y 3 en el LF6, por lo que ahora se intentará dar solamente 3.

Se debe garantizar que la bobina llegue a la pasada final con 0,7mm de espesor, ya que el tratamiento de recocido está diseñado para ello. Por lo tanto, se eliminará una de las pasadas intermedias en el LF6.

Dicho esto, llevando la reducción del aluminio al máximo, basándonos en la consigna de reducciones teóricas del Anexo II, se obtienen las siguientes reducciones:

Tabla 13: Tabla reducciones máximas CR11082

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada
Máquina	LF5	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC)	DD	RR
Espesor entrada [μm]	8.000	3.041	1.156
Espesor salida [μm]	3.041	1.156	486
Reducción real	62%	62%	58%
Reducción teórica máx.	62%	62%	58%

Se ve cómo con la máxima reducción ni se llega al espesor final (0,401mm) previamente marcado, ni al espesor necesario para introducir la bobina en los HR (0,7mm) (valores en rojo). Para cumplir con esta última condición, si se dejase fijo el espesor de entrada al HR en la última pasada (valores en azul), las demás reducciones deberían ser las siguientes:

Tabla 14: Tabla reducciones CR11082 con espesor HR fijado

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada
Máquina	LF5	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC)	DD	RR
Espesor entrada [μm]	8.000	2368	700
Espesor salida [μm]	2368	700	401
Reducción real	70,40%	70,439%	42,714%
Reducción teórica máx.	62%	62%	58%

Se ve como las reducciones necesarias están muy por encima de la reducción máxima (valores en rojo), por lo que se deduce que para este ítem no es posible optimizar su proceso.

7.2. CR12062

Esta otra familia de productos entra en el área de Laminación en Frío con 7mm de espesor y debe abandonarlo con 0,68mm. Para ello, antes se daban 5 pasadas, 2 en el LF5 y 3 en el LF6, por lo que ahora se intentará dar solamente 4.

Se debe garantizar que la bobina llegue a la pasada final con 0,837mm de espesor, ya que el tratamiento de recocido está diseñado para ello. Por lo tanto, se eliminará una de las pasadas intermedias en el LF6.

Dicho esto, llevando la reducción del aluminio al máximo, se obtienen las siguientes reducciones:

Tabla 15: Tabla reducciones máximas CR12062

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada	4ª pasada
Máquina	LF5	LF5	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	DD	RR
Espesor entrada [μm]	7.000	3.780	2.079	1.164
Espesor salida [μm]	3.780	2.079	1.164	582
Reducción real	46%	45%	44%	50%
Reducción teórica máx.	46%	45%	44%	50%

En este caso, sin embargo, sí que se consigue llegar al espesor final (0,68mm), incluso hasta un espesor menor (valor en verde). Pero, de nuevo, no se consigue el espesor necesario para el tratamiento térmico (0,837mm). Por lo tanto, y para intentar cumplir esta condición, si se fija dicho espesor final las reducciones necesarias serían las siguientes:

Tabla 16: Tabla reducciones CR12062 espesor HR fijado

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada	4ª pasada
Máquina	LF5	LF5	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	DD	RR
Espesor entrada [μm]	7.000	3.448	1.698	837
Espesor salida [μm]	3.448	1.698	837	680
Reducción real	50,750%	50,750%	50,704%	18,757%
Reducción teórica máx.	46%	45%	44%	50%

De nuevo, las reducciones necesarias serían excesivas y no se podrían llevar a cabo. Por lo que se concluye que el proceso del Item CR12062 no se puede mejorar.

7.3. CR11302

Este Item tenía una peculiaridad, se dividía en 2 sub-items con procesos distintos. El primero de ellos entra en el área de Laminación en Frío con 8mm de espesor y debe abandonar con 0,35mm. Para ello, antes se daban 4 pasadas, 1 en el LF5 y 3 en el LF6, y ahora se intentará dar solamente 3.

Se debe garantizar que la bobina llegue a la pasada final con 0,7mm de espesor, ya que el tratamiento de recocido está diseñado para ello. Por lo tanto, se eliminará una de las pasadas intermedias en el LF6.

Dicho esto, llevando la reducción del aluminio al máximo, se obtienen las siguientes reducciones:

Tabla 17: Tabla reducciones máximas CR11302 (1)

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada
Máquina	LF5	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	RR
Espesor entrada [μm]	8.000	3.041	1.156
Espesor salida [μm]	3.041	1.156	486
Reducción real	62%	62%	58%
Reducción teórica máx.	62%	62%	58%

Aumentada la reducción al máximo posible, no se consigue llegar al espesor final de 0,35mm, y tampoco se consigue el espesor de 0,7mm para el tratamiento térmico. Como en los otros casos, si se fijara el espesor del recocido a 0,7mm, se obtiene lo siguiente:

Tabla 18: Tabla reducciones CR11302 (1) espesor HR fijado

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada
Máquina	LF5	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	RR
Espesor entrada [μm]	8.000	2.368	700
Espesor salida [μm]	2.368	700	350
Reducción real	70,40%	70,439%	50%
Reducción teórica máx.	62%	62%	58%

Este caso es idéntico al primer caso en lo que a números se refiere. Se ve como la reducción sobrepasa con creces la reducción máxima, imposibilitando la mejora del proceso productivo.

El otro sub-item de esta familia entra a LF con 4mm de espesor, y al igual que el otro, sale con 0,35mm. Se somete a las bobinas a 3 pasadas, las 3 en el LF6, lo que hace que ahora se busque hacerlo en 2. Además, se deberá garantizar que a la pasada final llegue con 0,7mm de espesor debido al tratamiento térmico al que se somete a las bobinas antes de dicha pasada.

Si se llevan las reducciones al máximo, se obtienen los siguientes espesores:

Tabla 19: Tabla reducciones máximas CR11302 (2)

	1ª pasada	2ª pasada
Máquina	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	RR
Espesor entrada [μm]	4.000	1.700
Espesor salida [μm]	1.700	714
Reducción real	57,5%	58%
Reducción teórica máx.	57,5%	58%

Se ve cómo ni se llega al espesor final (0,35mm) ni al espesor del tratamiento térmico (0,7mm). La diferencia es tan amplia que no se va a realizar el análisis de cual sería las reducciones a dar con el espesor fijado, ya que a simple vista se ve que es imposible obtener unos resultados válidos. Este sub-item tampoco es mejorable.

7.4. CR12104

El Item CR12104 llega a LF con un espesor de 7mm y sale hacia Acabados con un espesor de 1,47mm. Para ello, se dan 4 pasadas, 2 iniciales en el LF5 y 2 finales en el LF6. Se intentará dar únicamente 3 pasadas, eliminando una de las pasadas intermedias. Como en todos los demás Items, se debe garantizar el espesor con el que llega al tratamiento térmico, es decir, 1,837mm.

Primero, como en los casos anteriores, si llevamos las reducciones al máximo se obtienen los siguientes espesores:

Tabla 20: Tabla reducciones máximas CR12104

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada
Máquina	LF5	LF6	LF6
Tipo	DD (LC2)	DD	RR
Espesor entrada [μm]	7.000	3.780	2.079
Espesor salida [μm]	3.780	2.079	1.143
Reducción real	46%	45%	45%
Reducción teórica máx.	46%	45%	45%

Se aprecia como el espesor final que se consigue es menor del que se necesita (1,47mm), por lo que sería posible reducir una pasada. Sin embargo, si se quiere cumplir la restricción del espesor del tratamiento térmico, esto se hace imposible de nuevo, ya que no es posible llegar hasta los 1,837mm.

Si se intenta la estrategia de fijar el espesor del tratamiento térmico y buscar las reducciones necesarias, los valores que se obtienen son los siguientes:

Tabla 21: Tabla reducciones CR12104 espesor HR fijado

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada
Máquina	LF5	LF5	LF6
Tipo	DD (LC2)	DD	RR
Espesor entrada [μm]	7.000	3.586	1837
Espesor salida [μm]	3.586	1.837	1470
Reducción real	48,770%	48,774%	19,978%
Reducción teórica máx.	46%	45%	45%

De nuevo se ve cómo se supera el valor máximo posible, en casi 3 puntos en este caso. Por lo tanto, se da por imposible la mejora de la eficiencia de este proceso. Si que cabe señalar, que este es el caso con la menor diferencia con la consigna teórica.

7.5. CR10439

En cuanto al último Item analizado, llega a LF con 7mm de espesor y debe salir de tal área a 0,97mm, pasando por los laminadores 4 veces. En este caso, se intentará que solamente lo haga 3, eliminando una de las pasadas en el LF5. El espesor a garantizar en el HR es de 1,41mm.

Los espesores que se obtienen con las reducciones máximas son los siguientes:

Tabla 22: Tabla reducciones máximas CR10439

	1ª pasada	2ª pasada	4ª pasada
Máquina	LF5	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	RR
Espesor entrada [μm]	7.000	3.780	2.079
Espesor salida [μm]	3.780	2.079	1.143
Reducción real	46%	45%	45%
Reducción teórica máx.	46%	45%	45%

Para esta última familia de bobinas se tiene que ni el espesor final (0,97mm) ni el espesor de los HR (1,41mm) se consiguen subiendo la reducción al máximo al eliminar una de las pasadas.

Agotando todas las posibilidades, si se fija el espesor de la pasada final y se busca la reducción necesaria para ello, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 23: Tabla reducciones CR10439 espesor HR fijado

	1ª pasada	3ª pasada	4ª pasada
Máquina	LF5	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	RR
Espesor entrada	7.000	3.143	1.410
Espesor salida	3.143	1.410	970
Reducción real	55%	55,138%	31,206%
Reducción teórica máx.	46%	45%	45%

Las reducciones que se obtienen están muy por encima del máximo teórico, por lo que es imposible que esta mejora se lleva a cabo.

7.6. SOLUCIÓN FINAL

Analizados todos los Items, se ve como no se han conseguido los resultados que se esperaban, porque, o bien no se consigue el espesor final, o bien no cumple la restricción del espesor de la operación de tratamiento térmico en los hornos de recocido.

2 de las familias, la CR12062 y la CR12104, de no ser por la restricción de los HR sí que serían candidatas para mejorar sus procesos productivos. Dando reducciones teóricas máximas se conseguirían los espesores finales de cada una de las familias. Por ello, sería posible reducir el número de pasadas de estas bobinas en una unidad, si no fuese por el espesor del tratamiento térmico.

Ante la negatividad de los resultados obtenidos y con objeto de cumplir con los objetivos pautados al inicio del proyecto, se proponen 3 alternativas.

7.6.1. ALTERNATIVA 1: ELIMINACIÓN DE LA RESTRICCIÓN DEL ESPESOR DE LOS HR

Esta primera alternativa se basa en eliminar la restricción del espesor de la banda de aluminio con la que entra en los hornos de recocido. Es decir, reducir al máximo los espesores sin importar el espesor de la última pasada.

Con esto lo que se consigue es que los productos CR12062 y CR12104 mejoren la eficiencia de sus procesos. Se ha visto como aplicando la reducción máxima teórica se llega a espesores inferiores a los necesarios para abandonar el área de LF.

7.6.1.1. CR12062

Entra con un espesor de 7mm y sale con un espesor de 0,68mm. Se pueden conseguir las siguientes reducciones y espesores intermedios:

Tabla 24: Tabla reducciones CR12062 alternativa 1

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada	4ª pasada
Máquina	LF5	LF5	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	DD	RR
Espesor entrada [μm]	7.000	3.920	2.234	1.274
Espesor salida [μm]	3.920	2.234	1.274	680
Reducción real	44%	43%	43%	46,608%
Reducción teórica máx.	46%	45%	45%	50%

En este caso, es posible eliminar 1 de las pasadas aumentando la reducción de cada una de ellas. Pero no es necesario llegar hasta la consigna máxima para ello, basta con llegar a reducciones menores entre 2 y 3 puntos a la máxima, dando así un margen de seguridad extra. Con esta solución la empresa se ahorraría unas 540 pasadas anuales.

7.6.1.2. CR12104

Entra a LF con un espesor de 7mm y sale con uno de 1,47mm, teniendo las siguientes reducciones:

Tabla 25: Tabla reducciones CR12104 alternativa 1

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada
Máquina	LF5	LF5	LF6
Tipo	DD (LC2)	DD	RR
Espesor entrada [μm]	7.000	4.130	2.478
Espesor salida [μm]	4.130	2.478	1.470
Reducción real	41%	40%	40,678%
Reducción teórica máx.	46%	45%	45%

Con una reducción unos 5 puntos inferior a la máxima posible, se puede llegar al espesor final reduciendo en 1 unidad el número de pasadas. Con esta solución se ahorrarían 124 pasadas anuales.

Dicho todo esto, sumando los 2 ahorros de pasadas, **Aludium se ahorraría 664 pasadas anuales** mediante esta alternativa.

Sin embargo, sería necesario replantear el tratamiento térmico al que se somete a ambas familias de bobinas antes de sus pasadas finales, ya que los espesores han cambiado. Esto ya queda

fuera del alcance del proyecto, por lo que, de escogerse esta alternativa, simplemente se analizarán los resultados obtenidos, no los cambios hechos en los tratamientos térmicos.

7.6.2. ALTERNATIVA 2: REDUCCIÓN DEL ESPESOR DE ENTRADA A LF

La otra alternativa se basa en la reducción del espesor de las bobinas antes de que lleguen al área de Laminación en Frío. Como se explicó en el apartado 5.2.2.3, el LC2 es capaz de procesar las placas y dejarlas entre los 12 y 4mm, por lo que, si las bobinas llegan con un espesor menor al actual, quizá sea posible eliminar una de las pasadas, garantizando el espesor final.

Además, para esta alternativa, no sería necesario la modificación de los procesos de recocido y probablemente se puedan mejorar más procesos, no solo los de 2 Items.

7.6.2.1. CR11082

Tabla 26: Tabla reducciones CR11082 alternativa 2

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada
Máquina	LF5	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC)	DD	RR
Espesor entrada [μm]	4.500	1.778	700
Espesor salida [μm]	1.778	700	401
Reducción real	60,50%	60,62%	42,71%
Reducción teórica máx.	62%	62%	58%

Para esta familia de bobinas, si se baja el espesor con el que se llega a LF desde los 8mm anteriores a los 4,5mm, dando una reducción unos 2 puntos por debajo de la máxima, será posible ahorrar una pasada para cada una de las bobinas. Esto significa que anualmente se reducirían 735 pasadas.

7.6.2.2. CR12062

Tabla 27: Tabla reducciones CR12062 alternativa 2

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada	4ª pasada
Máquina	LF5	LF6	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	DD	RR
Espesor entrada [μm]	5.000	2.700	1.485	837
Espesor salida [μm]	2.700	1.485	837	680
Reducción real	46,00%	45,00%	43,64%	18,76%

Reducción teórica máx.	46%	45%	44%	50%
-------------------------------	-----	-----	-----	-----

El CR12062 contaba con una producción de 540 anuales. Si se reduce el espesor inicial desde los 7mm hasta los 5mm, se consigue reducir en 1 unidad el número de pasadas. Para ello es necesario elevar las reducciones de cada una de ellas al máximo como se aprecia en la tabla superior. Esto se traduce en un ahorro anual de 540 pasadas.

7.6.2.3. CR11302 (1)

Tabla 28: Tabla reducciones CR11302 (1) alternativa 2

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada
Máquina	LF5	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	RR
Espesor entrada [μm]	4.500	1.778	700
Espesor salida [μm]	1.778	700	350
Reducción real	60,50%	60,62%	50%
Reducción teórica máx.	62%	62%	58%

Para este primer proceso del Item CR11302, es posible reducir el número de pasadas aumentando la reducción casi hasta su valor máximo, pero sin llegar al él. El espesor inicial necesario sería 4,5mm, y no los 8mm del proceso inicial. Haciendo esto se conseguiría una reducción de 121 pasadas anuales.

7.6.2.4. CR11302 (2)

Tabla 29: Tabla reducciones CR11302 (2) alternativa 2

	1ª pasada	2ª pasada
Máquina	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	RR
Espesor entrada [μm]	4.000	700
Espesor salida [μm]	700	350
Reducción real	82,5%	50%
Reducción teórica máx.	57,5%	58%

Sin embargo, en este segundo proceso ya se ve que es imposible. El número inicial de pasadas eran 3, por lo que reducir este a 2 es muy complicado. Tan solo en la primera pasada sería necesario elevar su reducción hasta un 82,5%, algo imposible.

7.6.2.5. CR12104

Tabla 30: Tabla reducciones CR12104 alternativa 2

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada
Máquina	LF5	LF5	LF6
Tipo	DD (LC2)	DD	RR
Espesor entrada [μm]	6.000	3.240	1.837
Espesor salida [μm]	3.240	1.837	1.470
Reducción real	46%	43,30%	19,98%
Reducción teórica máx.	46%	45%	45%

Para este otro Item sería posible ahorrarse 124 pasadas anuales. Bajando el espesor proveniente del LC2 a los 6mm y dando reducciones próximas a las máximas como se ve en la tabla, se consigue el objetivo de reducir el número de pasadas del proceso.

7.6.2.6. CR10439

Tabla 31: Tabla reducciones CR10439 alternativa 2

	1ª pasada	3ª pasada	4ª pasada
Máquina	LF5	LF6	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	RR
Espesor entrada [μm]	4.500	2.520	1410
Espesor salida [μm]	2.520	1.410	970
Reducción real	44%	44,05%	31,21%
Reducción teórica máx.	46%	45%	45%

Por último, para este último Item se ve como bajando el espesor inicial a los 4,5mm se puede reducir el número de pasadas sin sobrepasar la reducción máxima. Con esto se conseguiría un ahorro de 119 pasadas anuales.

Por lo tanto, **si se optase por esta alternativa el número de pasadas total que anualmente se ahorraría la empresa sería de 1.639 unidades.**

No obstante, esto no parece muy lógico. Se ahorraría un gran número de pasadas en el área de Laminación en Frío, pero a costa del área de Laminación en Caliente. Para la reducción a estos nuevos espesores en el LC2, sería necesario un aumento del número de pasadas en esta máquina, por lo que es pasar el problema de un lado al otro.

7.6.3. ALTERNATIVA 3: NUEVO ITEM SIN RECOCIDO INTERMEDIO

Finalmente, se baraja otra alternativa, la cual a simple vista puede ser la más interesante. Se ha llevado a cabo el análisis de más Items en busca de aquellos que puedan contribuir al aumento de la productividad del área de Laminación en Frío.

Se ha encontrado un Item del cual se fabrican 71 bobinas anuales, el CR10838. La peculiaridad de este radica en que su proceso productivo no lleva un recocido intermedio, sino final, por lo que no se tiene la limitación del espesor de entrada en la última pasada. Esto hace que esta familia de bobinas es una opción muy atractiva.

La aleación para este Item es un 5754, la cual se divide en subaleaciones en función de su dureza, que en este caso es 5754-02. El proceso productivo del Item es el siguiente:

1. PROCESO PREVIO (*fundición – laminación en caliente*)
2. Almacén horizontal AH
3. **Laminación en frío LF5**
4. **Laminación en frío LF5**
5. **Laminación en frío LF5**
6. Almacén vertical AV
7. **Laminación en frío LF6**
8. Almacén vertical AV
9. **Hornos de recocido HR**
10. PROCESO POSTERIOR (*acabados*)

El proceso consta de 3 pasadas en el LF5 y una pasada en el LF6. Tras todas ellas se realiza un recocido, por lo que en este caso la restricción de espesor para entrar a los HR no existe, es el espesor final de la bobina. Las reducciones dadas durante el proceso son las siguientes:

Tabla 32: Tabla reducciones CR10838

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada	4ª pasada
Máquina	LF5	LF5	LF5	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	DD	DD
Espesor entrada [µm]	6.800	5.008	3.688	2.716
Espesor salida [µm]	5.008	3.688	2.716	2.000
Reducción real	26,353%	26,358%	26,356%	26,362%
Reducción teórica máx.	33%	33%	33%	33%

Visto todo esto, si se aumentase la reducción en cada pasada ligeramente por encima de la máxima, algo asumible según la empresa basándose en la experiencia, sería posible reducir el número de pasadas al proceso. Véase la nueva distribución de espesores:

Tabla 33: Tabla reducciones CR10838 alternativa 3

	1ª pasada	2ª pasada	3ª pasada
Máquina	LF5	LF5	LF6
Tipo de dureza	DD (LC2)	DD	DD
Espesor entrada [μm]	6.800	4.522	3.007
Espesor salida [μm]	4.522	3.007	2.000
Reducción real	33,5%	33,5%	33,5%
Reducción teórica máx.	33%	33%	33%

Con esta alternativa, **el número de pasadas anuales que Aludium se ahorraría es de 71**. Número no muy atractivo, pero efectivo, al fin y al cabo.

7.6.4. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Barajadas las 3 alternativas al problema planteado, se concluye lo siguiente:

- **Alternativa 1**

Con esta opción la empresa ahorra 664 pasadas anuales, pero a costa de cambiar los tratamientos térmicos de las familias involucradas. La empresa interpreta esta opción inviable, por lo que se descarta.

- **Alternativa 2**

Con esta otra alternativa, la empresa reduce el número de pasadas en 1.639 unidades, número más que interesante. Para esta opción se pensó que no era lógica su realización, ya que el ahorro en LF suponía un aumento de trabajo en LC.

Sin embargo, el contexto que actualmente rodea la empresa cambia totalmente el pensamiento. Como se indicó en el apartado número 2, la empresa Aludium cuenta con 3 plantas, Amorebieta, Alicante y Castelsarrasin, que trabajan conjuntamente. Durante el mes de Abril se produjo un incidente en la planta de Alicante, el incendio de su Laminador en Frío 2 (L2), por lo que Amorebieta ha tenido que asumir el trabajo de este laminador.

Debido a este incidente, el cuello de botella actual de la planta, y de Aludium en general, es el área de Laminación en Frío de Amorebieta, por lo tanto, el ahorro de pasadas en este departamento a costa del aumento de las mismas en otro es la mejor opción actualmente, ya que no supone un aumento de la carga sino un balanceo de esta.

- **Alternativa 3**

Comparadas las cifras de ahorros entre la alternativa 2 y la alternativa 3, además de la situación que actualmente rodea la empresa, hace que esta opción esté por debajo de la opción anterior, por lo que se descarta.

Con todo esto, se concluye que la mejor opción es la de reducir los espesores de entrada en LF (alternativa 2), lo cual implicará un ahorro total de 1.639 pasadas anuales, o lo que es lo mismo, 4,67 pasadas diarias.

Conocida la solución propuesta, en el apartado 9 se analizarán los resultados obtenidos gracias a las modificaciones realizadas en los procesos con objeto de reducir el número de pasadas dadas a los Items descritos, y se sacarán las conclusiones pertinentes.

8. ANÁLISIS DE RIESGOS

Descritas las soluciones propuestas y seleccionadas cuál de las alternativas es la idónea, en este apartado se realizará el análisis de riesgos que dicha solución trae consigo.

El proyecto tiene como base el aumento de la reducción del aluminio en cada una de las pasadas que se da a las bobinas con objeto de disminuir el número de estas y, en consecuencia, aumentar la productividad del área de LF. Este aumento de la reducción implica que se estará trabajando más cerca del límite, lo que puede causar una serie de defectos en las bobinas y problemas en las máquinas.

8.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

8.1.1. DEFECTOS DE CALIDAD EN LA BANDA (A)

En la laminación del aluminio existen diferentes defectos por los que las bobinas pueden verse afectadas. Se destacan entre ellos las adherencias con los cilindros, los patinazos entre cilindro y banda, las marcas de cilindros (defectos causados por laminar objetos externos), roturas de la banda por la tracción dada a esta, etc. Sin embargo, ninguno de estos defectos es causado por una excesiva fuerza de compresión sobre la banda, por lo que no se les dará gran importancia.

El aumento de la reducción que se quiere dar al aluminio en cada pasada implica que la presión que se deberá ejercer sobre la banda será mayor, lo que provocará un defecto llamado “Chevrón”. Se trata de marcas en la superficie de la banda debidas a presiones excesivas. El aumento de la presión para aumentar la reducción hace que el contacto entre CT y banda no sea el óptimo, y la capa de lubricante entre ambos elementos no sea la necesaria. Por ello, aparecen esas marcas repetitivas debidas a desplazamientos entre los elementos que forman parte del proceso.

El nombre “Chevrón” viene de la propia palabra chevrón, símbolo utilizado en heráldica con forma de compás (ilustración de la izquierda). Viendo la apariencia que tiene este defecto (ilustración de la derecha), se ve la similitud con este símbolo.

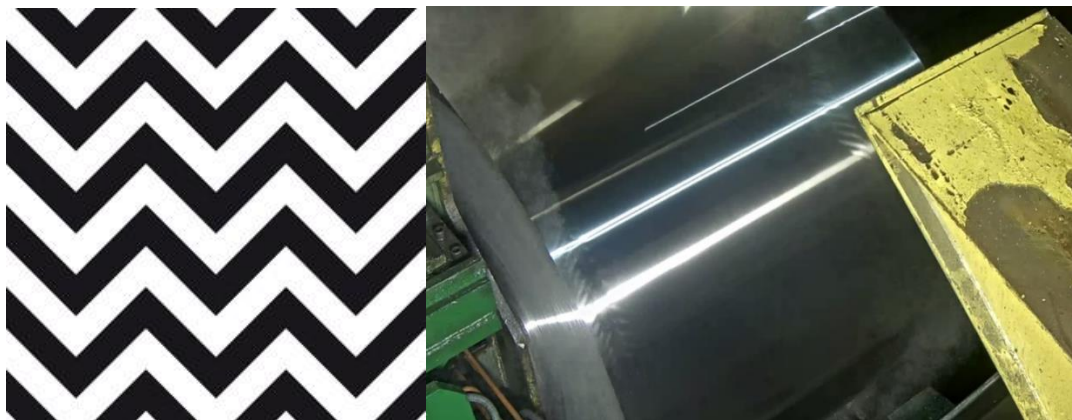


Ilustración 65: Defecto Chevrón

A simple vista puede que este defecto no parezca muy crítico, pero existen clientes que no aceptan este tipo de marcas. Por ello, habrá que tener especial atención cuando se realicen los ensayos y se deberá verificar que este tipo de defectos no aparezcan.

8.1.2. PROBLEMAS EN LAS MÁQUINAS (B)

Otro de los aspectos a tener en cuenta son los problemas que puedan surgir en las máquinas a causa de aumentar las reducciones dadas al aluminio, de forma que se vean mucho más solicitadas. Esto puede acarrear graves problemas en la planta, los cuales tendrán mayor repercusión que los problemas de calidad de las bobinas.

Si una bobina presenta problemas de calidad superficial como el descrito en el apartado anterior, esta puede continuar su curso si el defecto no es muy grosero o, por el contrario, puede enviarse a chatarra. De ser así, esto supondría un impacto económico en la empresa ya que dejaría de ganar dinero por tal bobina y tendría que volver a comenzar su proceso de fabricación. Todos los días varias bobinas son enviadas a chatarra por diferentes defectos, por lo que sería una consecuencia menor pero que se debe de evitar.

Sin embargo, la aparición de problemas en las máquinas ya sí que podría ser un problema de mucha más relevancia. Un problema en uno de los laminadores puede dejar parada la máquina durante horas o incluso días, en función de la envergadura del problema. Por lo tanto, si esto ocurre, el impacto que notaría la empresa sería mucho más crítico que el impacto causado por una bobina enviada a chatarra.

Dicho esto, se entiende que nunca se va a solicitar la máquina hasta los límites, con objeto de evitar este tipo de situaciones. No obstante, sí que se analizarán las posibles consecuencias que el aumento de las reducciones pueda acarrear.

Uno de los principales problemas que pueden aparecer está relacionado con la fuerza a ejercer por los cilindros de apoyo, cilindros encargados de aplicar la compresión mediante un sistema hidráulico. Los laminadores LF5 y LF6 tienen una fuerza límite de 1.300 y 1.600 toneladas respectivamente, por lo que es probable que, para aplicar las reducciones calculadas, sea necesaria una fuerza superior a estas. Esto impediría llegar a los valores calculados y, además, solicitar en demasía las prestaciones de la máquina.

Esto, aparte de hacer que no se llegue a los valores calculados, puede suponer la rotura de un gran número de elementos de la máquina: motores, flexibles, cilindros hidráulicos, etc. Su reparación puede ser costosa y duradera y la empresa debe evitar este tipo de situaciones a toda costa.

8.1.3. RETRASO EN LOS PEDIDOS (C)

A causa de las 2 situaciones barajadas en los 2 apartados anteriores, defectos en las bandas y problemas en las máquinas, la empresa puede experimentar retrasos en sus expediciones. Aludium

trabaja las 24 horas del día, los 7 días de la semana, por lo que su calendario de entregas es muy ajustado.

De darse el caso de que las máquinas estén averiadas, la empresa se verá incapaz de satisfacer la demanda de sus clientes, por lo que es un riesgo importante a analizar. Aparte del coste económico que supondrá su reparación, existirá otro coste económico al no vender producto, o incluso un coste por indemnización por falta de cumplimiento de contrato.

Por otro lado, en caso de fabricar alguna bobina defectuosa tendrá el mismo efecto, retraso en las entregas, pero con menor repercusión. Si se deja de entregar 1 bobina, la empresa puede sustituir dicha bobina por otra de las mismas características, por lo que este riesgo es menor debido al sobrecoste que esto supondría, únicamente la pérdida de una bobina.

8.2. EVALUACIÓN Y MATRIZ DE RIESGOS

Se han identificado 3 riesgos en la consecución del proyecto, pero 1 de ellos es consecuencia de los otros 2, por lo que para este caso no se va a evaluar de manera independiente. El resultado para los 2 riesgos principales será extrapolable al riesgo de retrasos en los pedidos.

Para evaluar ambos riesgos, se dará una probabilidad de aparición de estos y el impacto que tendrían. Con ambos valores, se sacará si los riesgos son bajos, moderados o altos, y, en consecuencia, se darán una serie de respuestas diferentes a estos riesgos. Los valores se han obtenido en base a la experiencia de la empresa.

Tabla 34: Tabla evaluación de riesgos

	Probabilidad	Impacto	Riesgo
A Defectos en la banda	0,2	0,5	Bajo
B Problemas en la máquina	0,5	0,9	Alto

De acuerdo con la evaluación obtenida, se ve como los problemas en la máquina son un riesgo importante a tener en cuenta, de forma que se tendrán que vigilar de muy cerca. A continuación, se adjunta una matriz de evaluación de riesgos entre probabilidad e impacto que ayuda a comprender su análisis y dar una respuesta apropiada al problema, en la que se incluyen las letras A y B en referencia a los 2 riesgos analizados.

Tabla 35: Matriz de riesgos

		IMPACTO		
		Bajo 0,1	Medio 0,5	Alto 0,9
PROBABILIDAD	Bajo 0,2	Bajo 0,02	Bajo 0,1 (A)	Moderado 0,18
	Medio 0,5	Bajo 0,05	Moderado 0,25	Alto 0,45 (B)
	Alto 0,8	Bajo 0,08	Alto 0,4	Alto 0,72

8.3. RESPUESTA A LOS RIESGOS

Analizados los posibles riesgos que pueden aparecer, a continuación, se hablará acerca de la respuesta que la empresa dará para evitar dichos riesgos, o, por lo menos, minimizar su impacto.

8.3.1. DEFECTOS DE CALIDAD EN LA BANDA

Para dar respuesta al riesgo de aparición de defectos en la banda, la empresa optará por un control visual periódico de las bobinas laminadas. Se entiende que la aparición de defectos es inevitable porque son efectos esporádicos gobernados por varios factores como la composición del metal, la lubricación, la presión ejercida, etc.

Por ello, la empresa opta por este tipo de controles visuales a pie de máquina. Según la bobina se va laminando, los operarios revisarán la calidad de la banda de aluminio periódicamente. Para las pasadas de preparar (desbaste) el ciclo de inspección de la calidad será cada 8 bobinas, mientras que para las pasadas de terminar (acabado) el ciclo será cada 4 bobinas.

8.3.2. PROBLEMAS EN LAS MÁQUINAS

Para el caso de aparición de problemas en las máquinas, la empresa tiene como contramedida la revisión de la maquinaria de manera periódica. Se hace un control preventivo de las máquinas en función de los ciclos de vida de los diferentes componentes y de las condiciones a las que se las somete. Hay que evitar a toda costa el fallo.

En base a esto, la empresa realiza controles y mantenimientos preventivos de las máquinas 1 vez por semana de forma programada, reparando y adecuando los componentes según su estado. También se realizan mejoras de mantenimiento según cuales sean las necesidades de la máquina.

8.3.3. RETRASO EN LOS PEDIDOS

Por último, para dar respuesta al riesgo de retrasar las entregas a los clientes, la empresa deberá tener un pequeño stock de bobinas en sus almacenes de forma que, si en algún momento falla la producción debido a problemas en las máquinas o debido a defectos de calidad, se pueda tener un margen de maniobra sin sufrir consecuencias económicas importantes.

METODOLOGÍA DEL PROYECTO

*AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL ÁREA DE LAMINACIÓN EN FRÍO DE LA
EMPRESA ALUDIUM MEDIANTE LA REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE PASADAS
DADAS A LAS BOBINAS*

9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Ante la negatividad de los resultados obtenidos en el apartado 7 en el intento de mejorar la eficiencia de los procesos simplemente aumentando la reducción dada al aluminio, se barajaron 3 alternativas diferentes para poder cumplir con los objetivos pautados. En el apartado 7.6 se vio cual era la alternativa más atractiva para llevar a cabo el aumento de la eficiencia del departamento de Laminación en Frío. Se escogió la alternativa número 2: la reducción del espesor de entrada de las bobinas al área de Laminación en Frío. Con esta alternativa Aludium era capaz de ahorrar 1.639 pasadas al año, lo que equivale a poder hacer 526 bobinas más anualmente si tomamos un número medio de pasadas por bobina genérico de 3.

Al comienzo del proyecto se marcó como tercer objetivo el implementar la mejora de los procesos en el día a día de la fábrica, no sin antes realizar los ensayos pertinentes para comprobar la viabilidad de los cambios. Sin embargo, las circunstancias que rodean al proyecto han hecho que este paso se salte y se pase directamente a la producción de bobinas con los procesos descritos.

Como se mencionó, el incendio en una de las plantas de Aludium convirtió al área de Laminación en Frío de Amorebieta en el cuello de botella de toda la empresa. Por otro lado, gracias a los años de experiencia de los que goza la empresa, esta confiaba en que el aumento de la reducción del espesor de la banda de aluminio en el área de Laminación en Caliente, haciendo que llegase a LF con un espesor más bajo, era un proceso totalmente viable. Con todo esto, y basándose en que en ningún momento se superan reducciones máximas teóricas (ensayadas en su día), la empresa decidió no realizar los ensayos y pasar a la producción directamente.

Dicho esto, este apartado cambiará un poco su plan inicial. Al comienzo se iban a analizar los ensayos y comprobar la idoneidad de la puesta en marcha de los procesos. Ahora, a sabiendas de que estos procesos funcionan, se llevará a cabo un análisis de los efectos que esto ha supuesto en la productividad de la empresa.

Se parte de la base que la empresa ahorrará 1.639 pasadas anuales gracias a la reducción en 1 unidad del número de pasadas por bobina de los siguientes procesos:

- CR11082
- CR12062
- CR11302-1
- CR12104
- CR10439

Aparte de estos, la empresa ha mejorado los procesos productivos de más familias de bobinas, las cuales no se han incluido en el documento para a no alagar este en demasía. Sin embargo, sí que se tendrán en cuenta en el análisis ya que tendrán efecto en los indicadores que se verán.

9.1. PASADAS POR DÍA

En este apartado se analizará el número de pasadas diarias tras las mejoras de los procesos, con valores de otros años y con valores de este mismo año, pero previos a dichas mejoras.

Este indicador tiene una particularidad, ya que aun mejorando los procesos es posible que sus valores no mejoren. Lo que se ha conseguido con el proyecto es reducir el número de pasadas dadas a las bobinas, de forma que, ahorrando X pasadas diarias, estas serán suplidas por otras Y pasadas, haciendo que se pueda mejorar, empeorar o incluso igualar los valores de los indicadores.

La cuestión radica en que al reducir el espesor de entrada en el área de Laminación en Frío lo que se ha hecho es eliminar la pasada más “de desgaste”, es decir, la pasada en la que se priorizaba más reducir material y no la precisión. Esto se traduce en que era una pasada muy rápida, por lo que las pasadas que se darán ocupando el lugar de estas serán más lentas y, en consecuencia, es posible que el número de pasadas disminuya y dicho indicador no mejore.

Por dar un ejemplo a lo previamente explicado, se supondrá que al día se dan 100 pasadas. De estas 100 pasadas, 20 son pasadas rápidas, es decir, pasadas con gran reducción y poca precisión, pasadas “de desgaste o de preparar”. Con la mejora de los procesos, la empresa se ahorra esas 20 pasadas, de forma que en el tiempo ocupado por ellas se darán X nuevas pasadas. Debido a la reducción del espesor de entrada en LF, las pasadas dadas en este tiempo libre necesitarán ser más precisas, ya que “el desgaste del espesor” ya se ha hecho en el área de Laminación en Caliente. Esta precisión hace que sean más lentas, de forma que donde antes se hacían 20 pasadas, ahora se harán menos, traduciéndose en un empeoramiento del indicador de pasadas diarias.

Dicho esto, en el siguiente gráfico se aprecia la tendencia en este año 2021 de manera mensual, así como el dato del 2020 a modo de comparación.

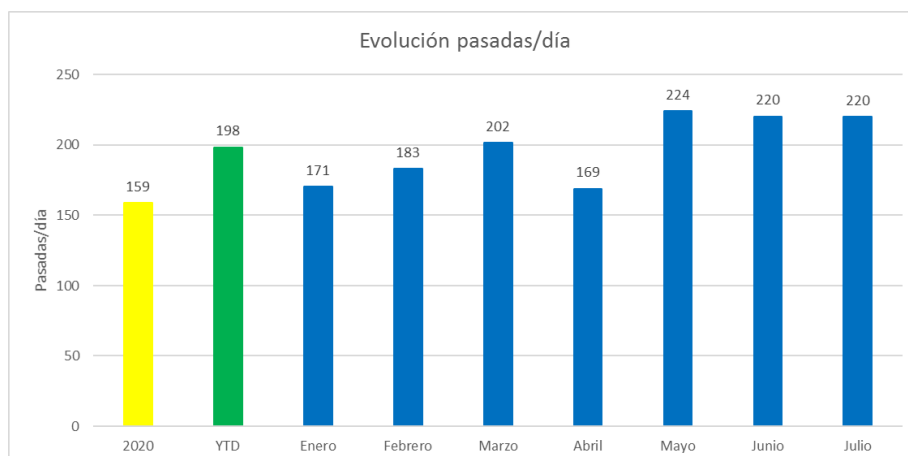


Gráfico 2: Evolución del número de pasadas por día

Al contrario que con lo mencionado anteriormente, el indicador no empeora en los últimos meses, sino que mejora. Esto choca completamente con el análisis hecho en los párrafos anteriores. Se ve como el indicador ha sufrido un ascenso importante, diferenciándose del primer trimestre del año, haciendo que el valor YTD (*Year To Day* = valor actualizado anual a día de hoy) aumente y no se parezca al del año 2020.

Esto ha ocurrido debido a factores externos al proyecto. Aparte del proyecto descrito en este documento, se están llevando a la par otros proyectos para mejorar la productividad del área de Laminación en Frío. Uno de ellos es el de reducir el tiempo que transcurre entre bobina y bobina, de forma que la máquina esté “parada” el menor tiempo posible.

Debido a estas otras mejoras, los valores del gráfico no reflejan el efecto que ha tenido el proyecto sobre este indicador. Es evidente, que cuando menor sea el tiempo entre bobina y bobina, más pasadas se darán al día y con ello se distorsiona el efecto generado por el proyecto.

Se puede concluir que el peso que tiene este indicador sobre el proyecto en cuestión es mucho menor que el peso que tiene el proyecto de reducir el tiempo entre bobinas, por lo que el efecto producido sobre él es imperceptible. Por ello, a continuación, se realizará el análisis de otro indicador, con la intención de revelar las mejoras que el proyecto ha supuesto.

9.2. PASADAS POR BOBINA

Este otro indicador hace referencia al número medio de pasadas que se da a cada bobina en el área de Laminación en Frío. Del mismo modo que el indicador anterior, se comparará el valor tras los nuevos procesos con los valores históricos.

Al contrario que el caso anterior, este indicador sí que sufrirá una mejora notable. Gracias a la mejora de la eficiencia de los procesos productivos de ciertos productos fabricados por Aludium, el número medio de pasadas dadas a las bobinas en LF se verá reducido, ya que se elimina una de esas pasadas. Esto supondrá un ahorro importante.

A la empresa le cuesta dinero mantener bobinas en el interior de su planta, es decir, el tiempo que una bobina pasa dentro está directamente relacionado con las ganancias que tiene la empresa. A modo de ejemplo, si se tiene una bobina con 4 pasadas de LF y una estancia en planta de 2 semanas de media, si se elimina una de esas pasadas, la estancia se verá reducida, y, en consecuencia, el coste de dicha estancia. Aquí es donde la empresa experimentará un ahorro considerable. Dicho esto, véase a continuación el gráfico de tal indicador:

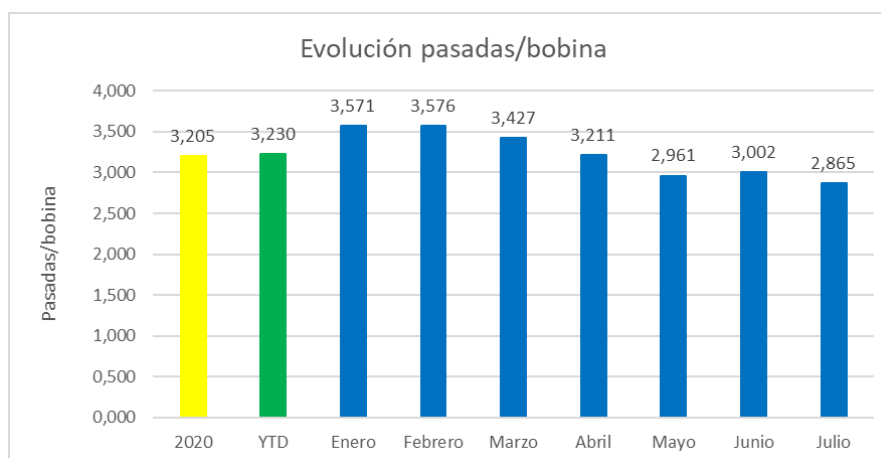


Gráfico 3: Evolución del número de pasadas por bobina

Este indicador, al final, es el reflejo del ahorro que la empresa experimentará ya comentado a lo largo del documento. Se ve como en el periodo de mayo-junio-julio, periodo en el cual la empresa ya empezó a implementar los nuevos procesos, el número de pasadas por bobina pasa de ser superior a 3, a ser inferior a este valor.

El año comenzó con valores bastante pobres en comparación con el 2020, pero gracias a los procesos mejorados, para el valor *YTD* (*Year To Day* = valor actualizado anual a día de hoy) se conseguirá un valor inferior al 2020 para finales del 2021. Actualmente se tiene un valor de 3,23 pasadas por bobina debido a la distorsión del primer trimestre del año, pero una vez se tenga en cuenta la implementación de los procesos mejorados durante varios meses, el valor disminuirá.

A continuación, se adjunta una previsión (columnas naranjas) de la producción de todo el 2021 basándose en datos del año pasado, pero teniendo en cuenta un porcentaje de mejora similar a los meses mayo-junio-julio.

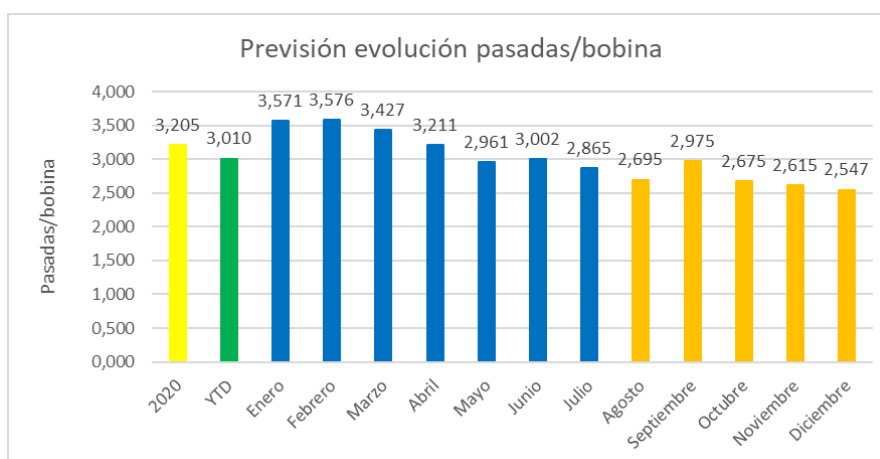


Gráfico 4: Previsión de la evolución del número de pasadas por bobina

Para los meses de mayo-junio-julio se ha conseguido una mejora media en el número de pasadas del 15%, por lo que, aplicando dicho valor a los valores mensuales del año pasado, se consiguen los valores de la gráfica superior. Todos están por debajo del valor 3, y se ve como el valor *YTD* ha pasado del 3,23 anterior, al 3,10, siendo inferior al valor del 2020. Este valor, a medida que pase el tiempo, pasará a estar por debajo del 3 incluso.

Los efectos generados por el proyecto han dado los resultados esperados en lo que a productividad se refiere y se da por satisfactorio el resultado final del proyecto.

9.3. CALIDAD SUPERFICIAL DE LAS BOBINAS

Aparte de analizar lo que a números se refiere, a continuación, se hará un pequeño análisis sobre la calidad obtenida en los nuevos procesos. Se analizarán variables como la planeidad de la banda y la desviación del espesor de esta.

Para no analizar tales variables en los 5 procesos mejorados, se hablará únicamente del primero de ellos a modo de ejemplo, ya que es uno de los que más aumento sufre en los porcentajes de sus

reducciones. Los resultados de los demás procesos se entienden que son correctos también, ya que los procesos se implementaron en el proceso productivo de la empresa.

Se ha escogido como ejemplo una de las pasadas intermedias, la penúltima pasada. Antes de la mejora de los procesos se tenía un espesor de entrada de 1,580mm y un espesor de salida de 0,7mm, dándose una reducción del 55,696%. Tras la mejora, se tiene un espesor de entrada de 1,778mm y un espesor de salida de 0,7mm, produciéndose una reducción del 60,62%, siendo un 62% la reducción máxima teórica.

Como ya se ha comentado, una de las variables que se analizarán es la planeidad de la banda. Para el análisis de esta variable, la empresa cuenta con un rodillo llamado rodillo Vidimón. Se trata de un rodillo situado a la salida del laminador, el cual está lleno de sensores en su interior encargados de medir la planeidad de la banda. El resultado que se obtiene es un gráfico de toda la banda, donde se representan por colores sus diferentes estados tensionales, zonas traccionadas (rojas), las zonas comprimidas (azules) y las zonas neutras (verdes). Véase el gráfico de la planeidad de la banda tras la mejora del proceso productivo del CR11082:

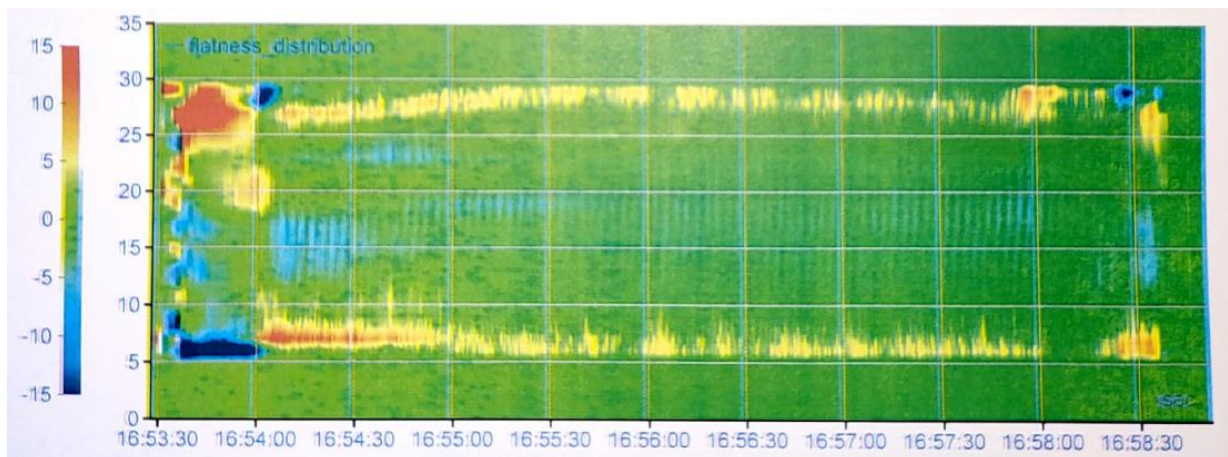


Gráfico 5: Planeidad de la banda

Se ve como la mayor parte de la banda muestra una tensión neutra, valor objetivo. Sí que aparecen ciertas zonas sombreadas de amarillo a lo largo de la banda, pero son valores totalmente aceptables. Únicamente sería interesante destacar la zona inicial de la banda (parte izquierda) donde se aprecian zonas rojas y azules, las cuales son producidas por el enhebrado (introducción) de banda entre los cilindros que nunca será perfecto. Estas zonas luego son saneadas en el área de Acabados. Por lo tanto, el resultado obtenido es más que aceptable.

Otra de las variables a analizar es la desviación del espesor de la banda. Se busca que se mantenga el espesor a lo largo de toda esta y no haya fluctuaciones excesivas. Para el análisis de esta variable, los laminadores cuentan con medidores de espesor de alta calidad a la entrada y a la salida que devuelven gráficas de tales desviaciones.

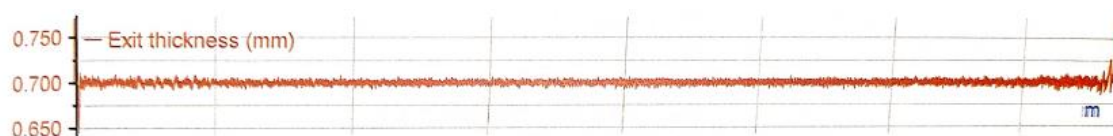


Gráfico 6: Desviación del espesor de salida

Se ve como el valor es constante durante toda la banda, siendo este los 0,7mm previamente mencionados. Al final de la banda se aprecia un pequeño despunte en el espesor. Esto es causado porque en el LF6 las colas de las bobinas no se laminan por cuestiones de calidad, y los cilindros se abren, dejando de deformar el material. Al igual que antes, se da por bueno el resultado obtenido en este análisis.

Finalmente, a modo de conclusión, se ve como los resultados obtenidos para esta familia de productos (CR11082) han sido positivos. Siendo esta una de las familias más solicitadas en lo que a mejoras se refiere, los resultados se entienden como extrapolables y válidos para el resto de las familias, dando por positivo el resultado final del proyecto.

10. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

Con el proyecto prácticamente finalizado, en este apartado se dará una descripción de la metodología seguida para la consecución del mismo. Se hablará acerca de la planificación que se ha llevado y se describirá cada una de las tareas y grupos de tareas con objeto de visibilizar los pasos y plazos seguidos durante el proyecto.

Al comienzo se marcaron 3 objetivos principales, de los cuales se marcarán 3 grupos de tareas donde organizar las tareas realizadas. A parte de estos 3 grupos, se incluirán 2 grupos de tareas más. Por un lado, se tendrá el análisis del concepto de laminación en frío de metales, y por otro lado se tendrá un grupo de análisis de alternativas.

G.T.1. Análisis de la laminación en frío

- Fecha inicio: 12 de abril de 2021
- Fecha final: 5 de mayo de 2021
- Duración: 18 días

En este grupo de tareas se engloba la recopilación de información acerca de la laminación en frío de una forma teórica. Se buscó información acerca de los cilindros que se utilizan en la laminación, se investigó acerca del contacto entre banda y cilindro, se habló de los equipos que se emplean para llevar a cabo este tipo de procesos y por último se habló sobre la lubricación y refrigeración de los cilindros. Fue una tarea extensa que se alargó durante varias semanas ya que era necesario contrastar la información.

G.T.2. Análisis de la producción de Aludium

- Fecha inicio: 19 de abril de 2021
- Fecha final: 21 de mayo de 2021
- Duración: 25 días

En cuanto a análisis de la producción de Aludium se pueden destacar tareas como la descripción del proceso productivo completo de la empresa, una descripción más detallada del área de Laminación en Frío, que es donde se lleva a cabo el proyecto, y, por último, un análisis profundo de los procesos de fabricación de los diferentes grupos de familias que tiene Aludium.

G.T.3. Mejora de los procesos productivos de Aludium

- Fecha inicio: 24 de mayo de 2021
- Fecha final: 25 de junio de 2021
- Duración: 25 días

En este grupo lo primero que se hizo fue identificar cuáles eran los mejores productos para mejorar la productividad global de la empresa. Conocidos cuales eran los productos con mayor volumen de fabricación, y, en consecuencia, cuáles serían los que mayor mejora de la productividad darían, se hizo un análisis de estos procesos y se buscó cómo se podían mejorar. En todos se buscaba reducir en una pasada de laminación el proceso que cada grupo de bobinas llevaba.

G.T.4. Descripción de alternativas

- Fecha inicio: 28 de junio de 2021
- Fecha final: 2 de julio de 2021
- Duración: 5 días

Los resultados no fueron los esperados, por lo que se tuvo que analizar nuevas alternativas o caminos a seguir. Aquí, se barajaron 3 alternativas muy diferentes y con efectos en la productividad muy dispares. Existían varios factores a tener en cuenta por lo que un buen análisis era crucial.

G.T.5. Implementación de los nuevos procesos

- Fecha inicio: 5 de julio de 2021
- Fecha final: 30 de julio de 2021
- Duración: 20 días

Escogida la alternativa más idónea, había que llevarla a la práctica. Al principio se pensó en realizar ensayos antes de pasar a la producción en masa, pero como se vio, los planes cambiaron. Se pasó directamente a la producción. Sin embargo, a pesar de no realizar ensayos, sí que había que hacer un control de los procesos nuevos.

G.T.6. Gestión del proyecto

- Fecha inicio: 12 de abril de 2021
- Fecha final: 30 de julio de 2021
- Duración: 80 días

Por último, este grupo de tareas engloba todo lo relacionado con la realización de este documento y todas aquellas tareas llevadas a cabo de forma periódica durante el proyecto.

Conocidos todos los grupos de tareas, a continuación, se adjuntará una tabla donde se recogen todas las tareas de cada uno de estos grupos. Estas tareas, y su grupo, tienen un identificador con objeto de facilitar la visualización de su relación o interdependencia, así como facilitar la lectura de un Diagrama de Gantt que viene adjunto al final de este apartado.

Tabla 36: Tabla planificación tareas

Identificador	Nombre tarea	Duración	Predecesora
G.T.1.	Análisis de la laminación en frío	18 días	
T.1.1.	Recopilación de la información	5 días	-
T.1.2.	Análisis y contrastación de la información	3 días	T.1.1
T.1.3.	Organización de la información	10 días	T.1.2.
H.1.	Validación de los resultados	0 días	T.1.3.
G.T.2.	Análisis de la producción de Aludium	25 días	
T.2.1.	Proceso productivo completo de la empresa	15 días	T.1.2.
T.2.2.	Área de Laminación en Frío	5 días	T.1.2.
T.2.3.	Producción de Aludium del año 2020	20 días	T.2.2.
H.2.	Validación de resultados	0 días	T.2.3.
G.T.3.	Mejora de los procesos productivos de Aludium	25 días	
T.3.1.	Identificación de los productos más fabricados	5 días	T.2.3.
T.3.2.	Análisis de los procesos	8 días	T.3.1.
T.3.3.	Mejora de la eficiencia de los procesos	12 días	T.3.2.
H.3.	Validación de resultados	0 días	T.3.3.
G.T.4	Descripción de alternativas	5 días	
T.4.1.	Planteamiento de alternativas	2 días	T.3.3.
T.4.2.	Elección de alternativas	3 días	T.4.1.
H.4.	Validación de resultados	0 días	T.4.2.
G.T.5.	Implementación de los nuevos procesos	20 días	
T.5.1.	Creación de los nuevos procesos	5 días	T.4.2.
T.5.2.	Puesta en marcha de los nuevos procesos	10 días	T.5.1.
T.5.3.	Control de los nuevos procesos	10 días	T.5.2.
T.5.4.	Análisis de los resultados	5 días	T.5.3.
H.5.	Validación de resultados	0 días	T.5.4.
G.T.6.	Gestión del proyecto	80 días	
T.6.1.	Gestión del proyecto	80 días	-

Como se aprecia en la tabla superior existen 5 tareas con un identificador diferente al resto y una duración de 0 días. Se trata de 5 hitos marcados a lo largo del proyecto cuya función es verificar que la consecución del proyecto se está llevando a cabo de manera correcta.

Tabla 37: Tabla de hitos

H.1.	Hito para comprobar que la información recopilada y el análisis realizado acerca de la laminación en frío son correctos.
H.2.	Hito con el que certificar que el análisis realizado acerca de la producción de Aludium es correcto y se ha sacado información valiosa de este.
H.3.	Hito para verificar que la mejora realizada a los proyectos es correcta.
H.4.	Con la negativa del hito anterior, nuevo hito con el que saber que la alternativa planteada es correcta.
H.5.	Hito final con el que saber si se ha conseguido lo que se planteó al comienzo del proyecto.

Finalmente, para el diagrama de Gantt adjunto a continuación se ha utilizado un calendario estándar, con 5 días laborables por semana y festivos nacionales, en el cual la fecha de inicio del proyecto es el 12 de abril de 2021 y la fecha final el 30 de julio de 2021.

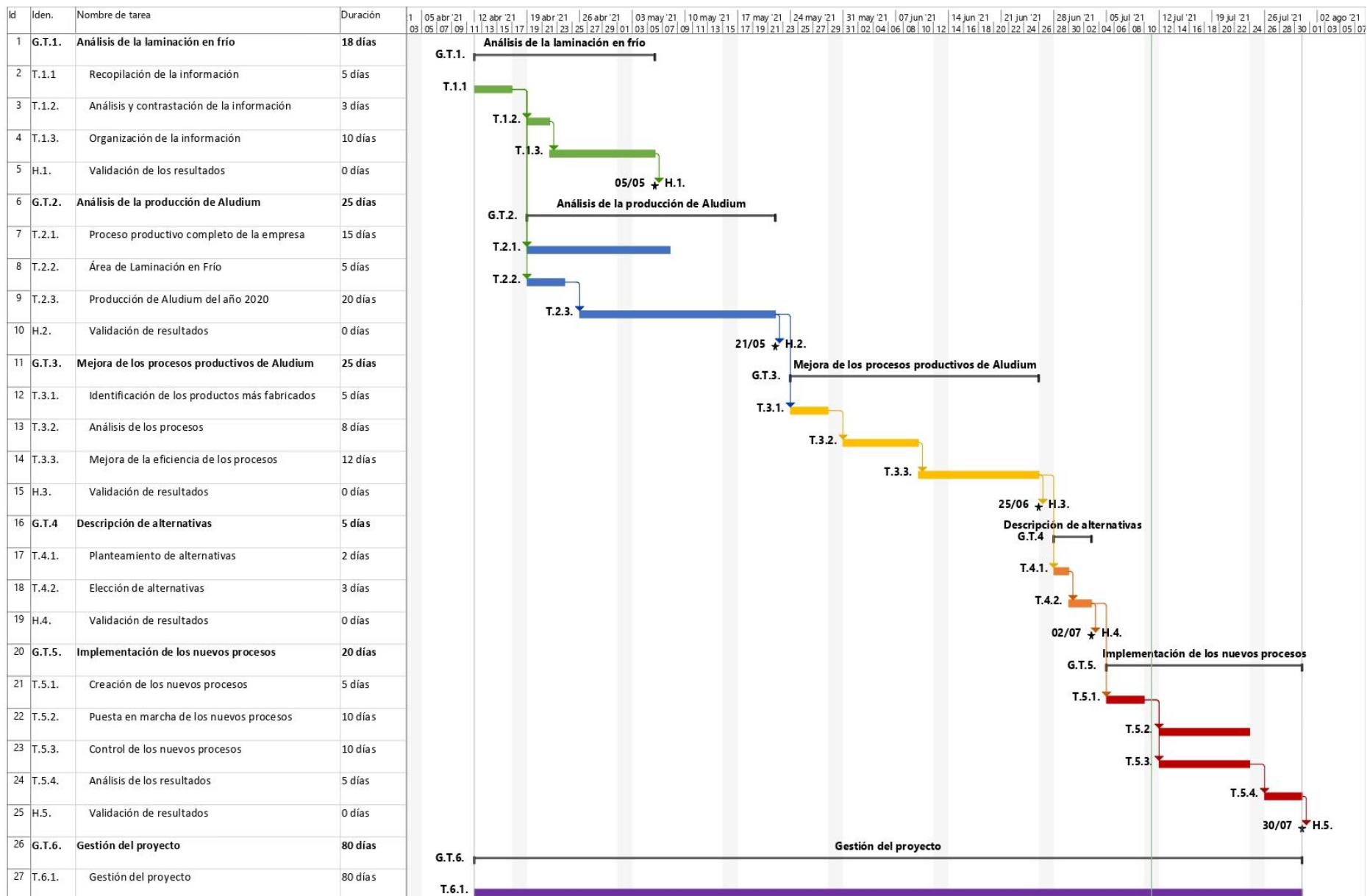


Ilustración 66: Diagrama de Gantt

ASPECTOS ECONÓMICOS

*AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL ÁREA DE LAMINACIÓN EN FRÍO DE LA
EMPRESA ALUDIUM MEDIANTE LA REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE PASADAS
DADAS A LAS BOBINAS*

11. DESCARGO DE GASTOS

Una vez el proyecto ha terminado y se conocen los efectos que ha tenido en la producción de la planta de Aludium Amorebieta, se va a realizar un análisis de los costes que ha supuesto este proyecto. Conocidos los gastos, se compararán con los beneficios económicos que supone el proyecto, y se realizará un análisis básico de la rentabilidad obtenida, esto ya en el siguiente apartado.

Como se trata de un proyecto de análisis y mejora de procesos, los costes del mismo solo hacen referencia a material utilizado, horas internas trabajadas, amortizaciones, etc., dejando de lado cualquier tipo de coste de fabricación. Por lo tanto, el análisis de costes es un análisis de costes de ingeniería.

Estos costes vienen influenciados por los siguientes datos:

Tabla 38: Datos generales para el análisis de costes

Coste Ingeniero senior	35 €/h
Coste Ingeniero junior	25 €/h
1 relevo	1800 h/año
Horas de proyecto	200
Costes indirectos	5%

El primer coste a tener en cuenta serán los costes derivados de las horas internas trabajadas. Se diferenciarán por costes de Ingeniero senior y costes de Ingeniero junior, siendo la distribución de costes las siguiente:

Tabla 39: Costes de horas internas

	Horas (h)	Tasa horaria (€/h)	Coste horas internas (€)
Ingeniero senior 1	10	35	350
Ingeniero senior 2	30	35	1.050
Ingeniero junior	200	25	5.000
Coste total horas internas			6.400 €

El siguiente coste hace referencia a los costes derivados de las amortizaciones de los equipos y programas informáticos utilizados para la realización del proyecto:

Tabla 40: Costes de amortizaciones

	Horas (h)	Precio (€)	Vida útil (años)	Tasa horaria (€/h)	Coste horas internas (€)
Ordenador	200	589,00	6	0,054	10,91
Microsoft Office 2016	150	110,00	1	0,06	9
Project Professional 2013	5	180,00	1	0,10	0,50
Herramientas internas de los laminadores	30	62.000,00	10	3,44	103,33
Coste total amortizaciones					123,74 €

Finalmente, conocidos los costes de las horas internas y los costes de las amortizaciones, se tendrá en cuenta un porcentaje referente a costes relacionados al proyecto pero que aún no se han incluidos, como posibles imprevistos relacionados al proyecto. Y conocidos estos costes, se tendrá el coste total del proyecto.

Tabla 41: Costes totales del proyecto

Costes totales directos		6523,74 €
Costes indirectos	5%	325,15 €
COSTES TOTALES DEL PROYECTO		6848,89 €

El coste final del proyecto es de **seis mil ochocientos cuarenta y ocho euros con ochenta y nueve céntimos de euro**, siendo los costes de horas internas los que más peso tienen en el proyecto (93%). Véase, a continuación, la gráfica comparativa de los diferentes costes.

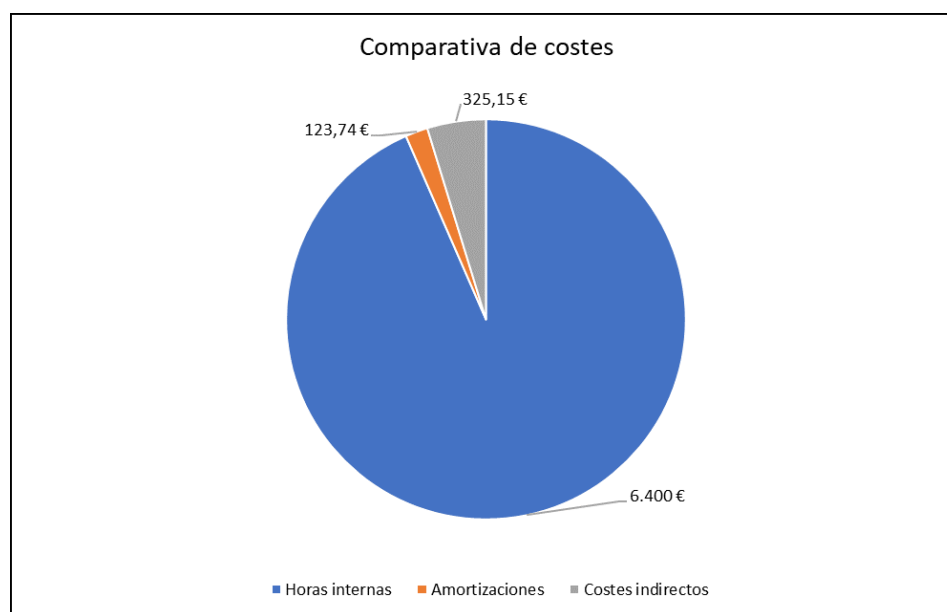


Gráfico 7: Comparativa de los costes del proyecto

12. ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD

Ya se sabe cuál es el ahorro final de pasadas anuales, 1.639 pasadas, y ya se sabe el coste final del proyecto, 6848,89 €. Únicamente queda por conocer lo rentable que ha sido el proyecto. Para ello, se tendrá en cuenta el ahorro supuesto por las 5 familias de productos analizados, y no el ahorro supuesto por todas las demás mejoras de procesos como se hizo en el apartado 9 Análisis de Resultados.

En ese caso era imposible desglosar la mejora de la productividad en función de las familias de productos analizadas en este documento, ya que los indicadores que la empresa maneja son globales. Para este otro caso, sin embargo, conociendo el valor medio que supone a la empresa dar una pasada, será posible saber el ahorro que ha supuesto el proyecto, todo hablando de manera aproximada.

Este valor medio está influenciado por una gran cantidad de factores, como amortizaciones de la maquinaria, amortizaciones de los vehículos, salarios de los empleados, costes de los materiales, costes de los combustibles, amortizaciones de los terrenos, intereses de las entidades bancarias, impuestos, y un largo etc. Por esto, su análisis es muy complicado y únicamente se dará un valor aproximado en base a la experiencia de la empresa.

Pero antes, se recapitulará para conocer exactamente el ahorro en pasadas supuesto por cada ítem y por el proyecto en global. Se reduce en una unidad el número pasadas por cada familia, por lo que el valor de pasadas ahorrado será igual al valor de bobinas fabricadas. Véase la siguiente tabla:

Tabla 42: Resumen ahorro de pasadas

	Pasadas ahorradas	%
CR11082	735	44,84 %
CR12062	540	32,95 %
CR11302	121	7,38 %
CR12104	124	7,57 %
CR10439	119	7,26 %
TOTAL	1.639	

Si se estima un valor de 28 € por pasada y por tonelada de aluminio, asumiendo que una bobina media pesa 7,5 toneladas, el coste de cada pasada por bobina es de unos 210 €. Con este dato, la tabla superior queda de la siguiente manera:

Tabla 43: Resumen ahorro supuesto

	Pasadas ahorradas	%	Ahorro supuesto
CR11082	735	44,84 %	154.350,00 €
CR12062	540	32,95 %	113.400,00 €
CR11302	121	7,38 %	25.410,00 €
CR12104	124	7,57 %	26.040,00 €
CR10439	119	7,26 %	24.990,00 €
TOTAL	1.639		344.190,00 €

El ahorro supuesto por el proyecto para la empresa es de **trescientos cuarenta y cuatro mil ciento noventa euros**, por lo que comparandolo con el coste del proyecto calculado en el apartado anterior el resultado es sumamente mayor. Sin embargo, no se trata de un ahorro real.

El objetivo del proyecto era aumentar la productividad del área de Laminación en Frío de la empresa, y en cierta manera se ha conseguido, pero a costa del área de Laminación en Caliente que ha aumentado su número de pasadas dadas a las bobinas. Esto, productivamente tiene sentido porque LF era el cuello de botella de toda la empresa, pero económicamente no.

El ahorro experimentado por LF se contrarresta con el aumento de los costes de LC. No se dispone de la cifra exacta, pero se intuye que será un valor similar al calculado, de forma que anule completamente el ahorro conseguido.

Con todo esto, se concluye que el proyecto ha generado unos beneficios productivos en la empresa, ayudándola a superar las circunstancias en las que se ha visto inmersa; pero no económicos como se pensó en el apartado 4.

Como apunte final, y para ilustrar unos beneficios económicos reales, de haber escogido la alternativa 3 que suponía un ahorro de 71 pasadas anuales, la empresa habría experimentado el siguiente ahorro:

	Pasadas ahorradas	Ahorro supuesto
CR10838	71	14.910,00 €

De forma que, comparando esta cifra con los costes asociados al proyecto, este quedaría totalmente justificado y sus resultados hubiesen sido totalmente satisfactorios económicamente, aportando un beneficio económico de 8.061,11€ anuales.

CONCLUSIONES

*AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL ÁREA DE LAMINACIÓN EN FRÍO DE LA
EMPRESA ALUDIUM MEDIANTE LA REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE PASADAS
DADAS A LAS BOBINAS*

Tras la implementación de los nuevos procesos productivos en el día a día de la empresa, y analizados los resultados obtenidos con la mejora de eficiencia del área de Laminación en Frío de Aludium Amorebieta, a continuación, se aportarán una serie de conclusiones sacadas durante la consecución del proyecto.

Un punto importante del proyecto es conocer de manera profunda el proceso productivo completo de Aludium, de esta forma se entenderá de dónde provienen las bobinas laminadas en el área de LF y hacia dónde van. Con esto, será posible tomar las decisiones correctas a la hora de mejorar procesos, siendo conscientes de las singularidades que puedan tener los productos.

Conocidos los procesos, uno de los puntos clave serán las restricciones en tales procesos. En este caso se identificó una restricción muy limitante en el intento de mejora, el espesor con el cual las bobinas entraban en los hornos de recocido. Las operaciones de recocido están diseñadas para un espesor específico, por lo que, si este no llega con el valor necesario, los resultados de la operación no serán los diseñados. Es por esto por lo que, en todos los procesos analizados que tenían un recocido final antes de la última pasada de laminación, el espesor de la pasada final no se podía cambiar. Esto se traducía en que ninguno de los procesos era candidato a mejorar, de forma que se tuvo que optar por nuevas alternativas, cambiando por completo el proyecto.

La elección de estas alternativas es otro punto fundamental en el proyecto, el cual tendrá un peso importante. El número de pasadas que se ahorrarán según cuál sea la alternativa marcará esta elección. Aparte de este número, la lógica de la alternativa será crucial. En este caso se vio como la alternativa elegida solo tenía sentido por las circunstancias que rodeaban al proyecto en ese momento, y no hubiese sido elegida en otro tipo de circunstancias. Con esto lo que se entiende es que es fundamental un análisis del contextual.

Otro punto interesante a resaltar será la calidad de las bobinas tras los nuevos procesos. De nada sirve mejorar la eficiencia de las operaciones de LF, si esta eficiencia se ve contrarrestada con una mala calidad de los productos. El compromiso entre calidad y producción debe ser total para que los resultados finales sean prometedores. En este caso, se ha visto como la calidad no ha sido ningún problema en los nuevos procesos.

En cuanto a los resultados obtenidos, se parte de la base de un ahorro de 1.639 pasadas anuales. Sumando a estas la mejora de más procesos, que se han dejado fuera del documento, el valor es mucho mayor. Este valor hace que, como se vio en el apartado 9, el indicador pasadas/bobina sufriese una mejoría muy notable en el segundo trimestre del año. Esto se traduce en que para hacer una bobina la empresa emplea menos de 3 pasadas, cuando antes las hacía con más de 3. Esto, al fin y al cabo, se refleja en un ahorro económico para la empresa, ya que cuantas menos operaciones se necesiten, menor será su coste de fabricación. Este ahorro, sin embargo, será contrarrestado por el sobrecoste del aumento de pasadas en LC, pero como ya se ha comentado, es algo inevitable.

Dando continuidad a la idea anterior, en lo que dinero se refiere, la empresa ha experimentado un ahorro de 344.190,00 € por suprimir una de las operaciones de Laminación en Frío. Este valor, comparado con los 6848,89 € de costes que ha supuesto el proyecto, hace de este un proyecto totalmente satisfactorio a simple vista. Sin embargo, como ya se ha indicado, el ahorro experimentado

en LF choca por completo con el aumento de los costes de LC, por lo que el aspecto económico no justifica el haber llevado a cabo el proyecto. Cosa que sí que hace el aspecto productivo.

Finalmente, se destacará también el valor que el proyecto ha tenido en el autor del mismo. Se partía de ciertos conocimientos en los procesos de laminación, pero tras la realización del proyecto, los conceptos adquiridos son incomparables. Del mismo modo, el proyecto ha dotado al autor de cierta madurez profesional, permitiéndole conocer cómo es el funcionamiento interno de la industria y preparándole para el paso final en su carrera de incorporación al mundo laboral.

Con todo esto, se concluye el proyecto con unos resultados muy satisfactorios; tanto para la empresa, reflejados en la mejora de la productividad del área de Laminación en Frío, como para el autor del mismo, reflejados en el crecimiento profesional experimentado.

BIBLIOGRAFÍA

*AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL ÁREA DE LAMINACIÓN EN FRÍO DE LA
EMPRESA ALUDIUM MEDIANTE LA REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE PASADAS
DADAS A LAS BOBINAS*

- [Metalmecánica Internacional, 2019] Metalmecánica Internacional. (Junio de 2019). *Formado y fabricación: Metalmecánica Internacional*. Obtenido de Servoprensas: versátiles y precisas: <https://www.metalmecanica.com/temas/Servoprensas,-versatiles-y-precisas+130738?pagina=2>
- [Departamento de Ingeniería Mecánica, 2017] Departamento de Ingeniería Mecánica. (2017). *Tecnología mecánica*. Bilbao, España: Escuela de Ingeniería de Bilbao.
- [Aludium, 2018] Aludium. (2018). *Sobre nosotros*. Obtenido de <https://aludium.com/es/aludium/sobre-nosotros/>
- [Enríquez Berciano, Tremps Guerra, de Elío de Bengy, & Fernández Segovia,2010] Enríquez Berciano, J. L., Tremps Guerra, E., de Elío de Bengy, S., & Fernández Segovia, D. (2010). *Monografías sobre tecnología del acero, parte IV. Laminación*. Madrid, España.
- [Groveer, 2007] Groveer, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México D. F.: México: McGraw-Hill Interamericana.
- [Lucena, Benito, Roca, & Jorba, 1998] Lucena, M., Benito, J., Roca, A., & Jorba, J. (1998). Variación de las constantes elastoméricas del aluminio puro deformado en frío por estirado. *Revista de Metalurgia*, 310-313.
- [Lumley, 2011] Lumley, R. (2011). *Fundamentals of aluminum metallurgy. Production, processing and applications*. Cambridge, Reino Unido: Woodhead Publishing.
- [Pérez-Izarbe Uriz, Faustmann Salas, & Suárez Sanabria, 2000] Pérez-Izarbe Uriz, J., Faustmann Salas, J., & Suárez Sanabria, A. (2000). Recristalización de bandas de aluminio procedentes de colada continua, laminación en frío. *Revista de Metalurgia*, 435-451.
- [Schröder, 2003] Schröder, K. H. (2003). *Descripción básica de los fundamentos mecánicos de los cilindros de laminación*. Tenneck, Austria: Eisenwerk Sulzau-Werfen (ESW).
- [The Aluminum Association, 2007] The Aluminum Association. (2007). *Rolling aluminum: from the mine through the mill*. Alrington, Virginia. Estados Unidos: The Aluminum Association, Inc.
- [Wusatowski, 1969] Wusatowski, Z. (1969). *Fundamentals of Rolling*. Gliwice, Polonia: Universidad Politécnica.

ANEXOS

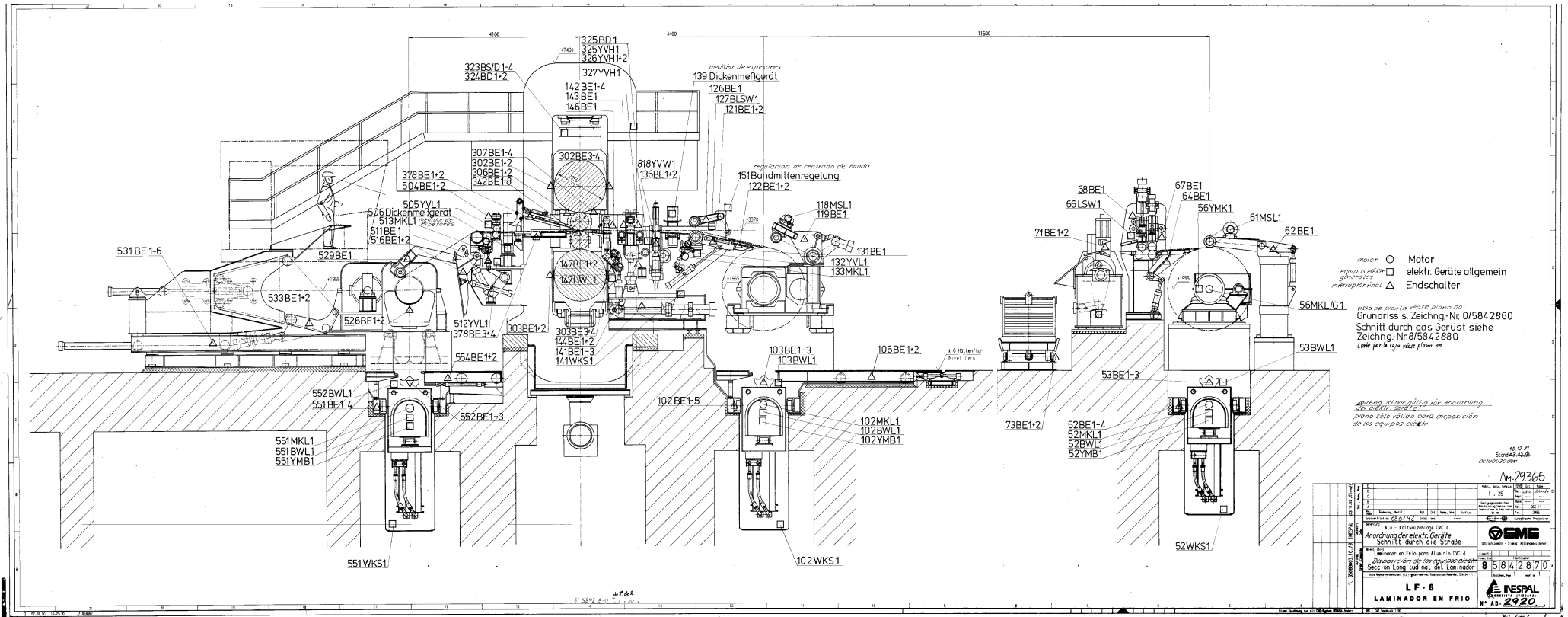
*AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL ÁREA DE LAMINACIÓN EN FRÍO DE LA
EMPRESA ALUDIUM MEDIANTE LA REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE PASADAS
DADAS A LAS BOBINAS*

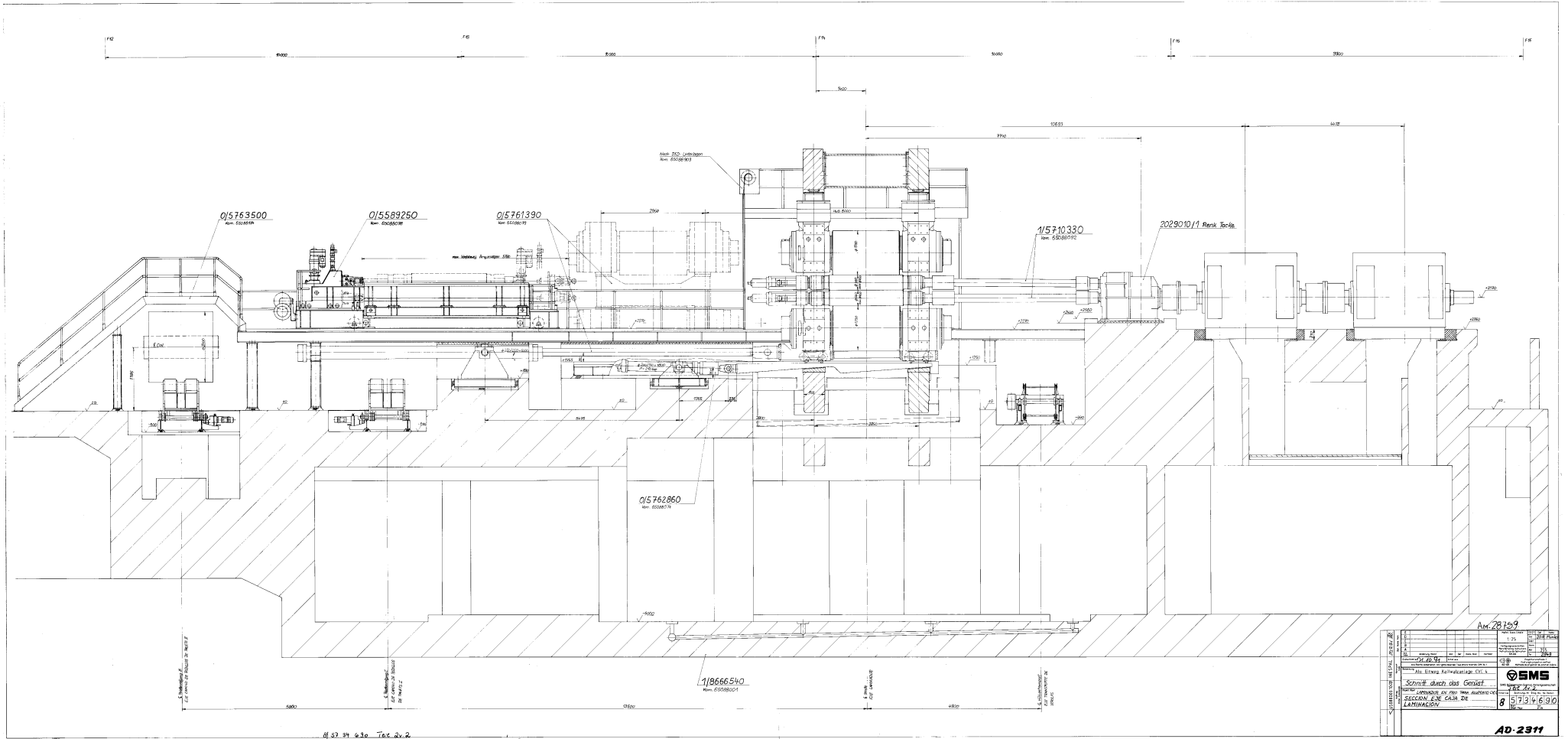
ANEXO I

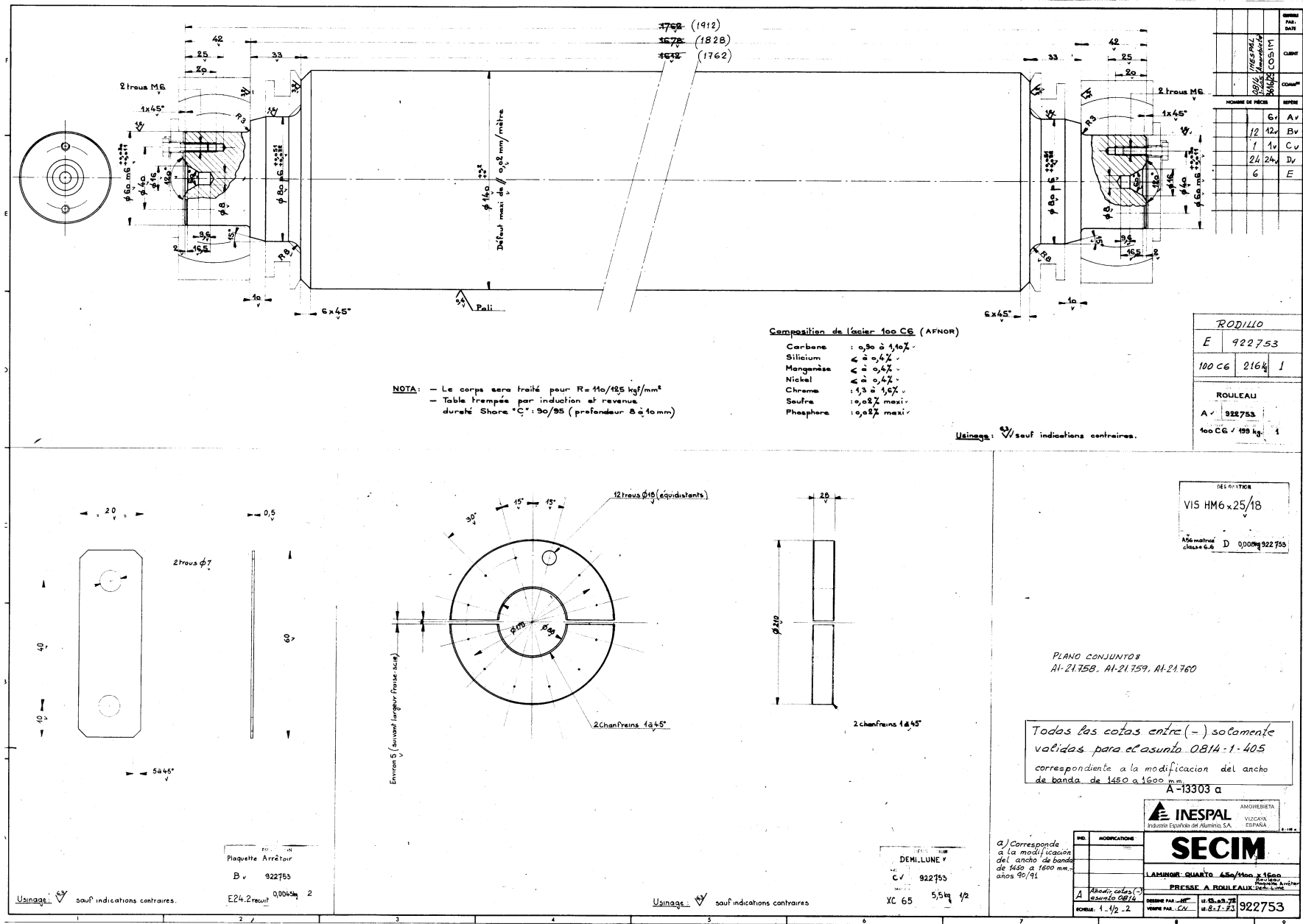
En este apartado se adjuntan una serie de planos de las diferentes partes del LF5 y del LF6, con objeto de dejar perfectamente clara la geometría de ambos laminadores.

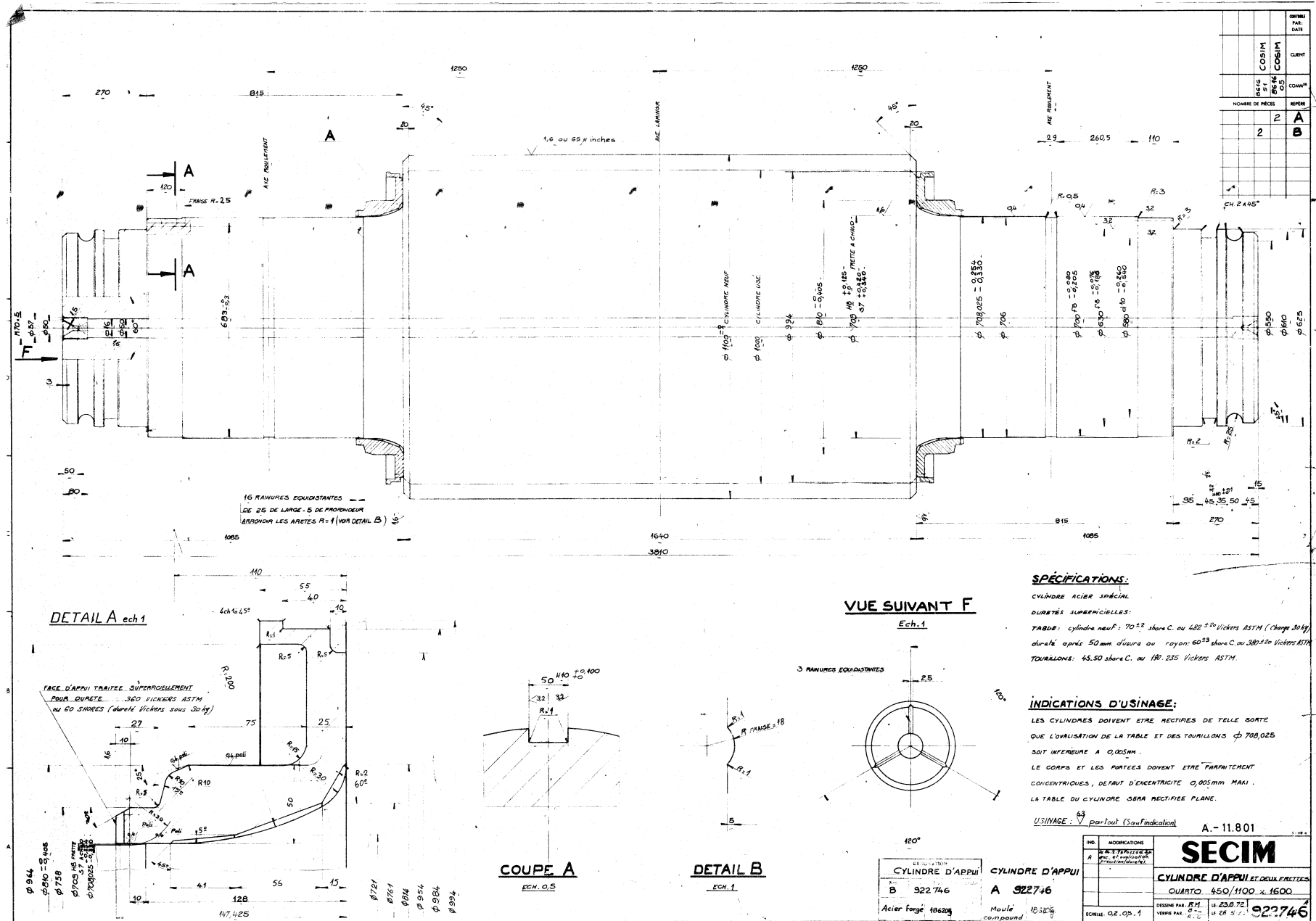
Índice de planos

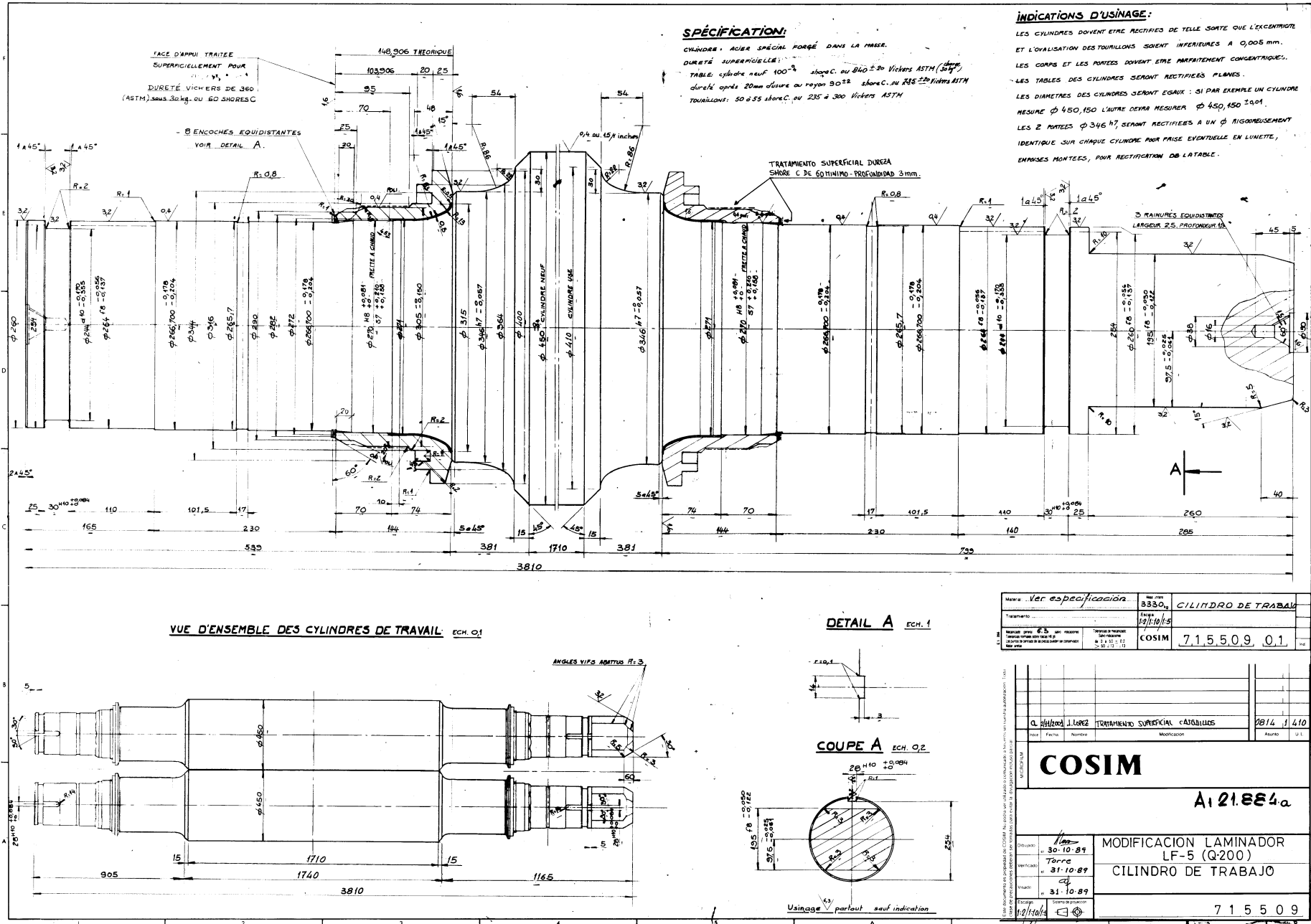
01.	Plano general LF5	pág. 103
02.	Plano sección transversal caja LF5	pág. 104
03.	Plano general LF6	pág. 105
04.	Plano sección transversal caja LF6	pág. 106
05.	Plano rodillo prensa LF5	pág. 107
06.	Plano rodillo prensa LF6	pág. 108
07.	Plano cilindro de apoyo LF5	pág. 109
08.	Plano cilindro de apoyo LF6	pág. 110
09.	Plano cilindro de trabajo LF5	pág. 111
10.	Plano cilindro de trabajo LF6	pág. 112











Matériau: Ver especificacion	Nº de plan: 3330 ₄	CILINDRO DE TRABAJO												
Traitement: ...	Date: 28/10/89													
Matière: 6.5	Service: COSIM	7.15509.01												
<table border="1"> <tr> <td>Aut.:</td> <td>1.402</td> <td>Traitement: SUPERFICIAL CATALANES</td> <td>2814</td> <td>1</td> <td>410</td> </tr> <tr> <td>Etat:</td> <td>Fin</td> <td>Modification:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Aut.:	1.402	Traitement: SUPERFICIAL CATALANES	2814	1	410	Etat:	Fin	Modification:			
Aut.:	1.402	Traitement: SUPERFICIAL CATALANES	2814	1	410									
Etat:	Fin	Modification:												
COSIM														
A1 21.664a														
Modifié: 30-10-89 Terre: 31-10-89 Cyl: 31-10-89														
MODIFICACION LAMINADOR LF-5 (Q200) CILINDRO DE TRABAJO														
7 1 5 5 0 9														

ANEXO II

En este Anexo se adjunta la consigna de las reducciones teóricas máximas para el aluminio en función de su dureza y su aleación. Cabe destacar que existen algunos limitantes en función del espesor, ancho o máquina. Estas reducciones son las empleadas en los apartados 6 y 7.

LF		REDUCCIONES MAXIMAS DE ESPESOR PARA EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES EN LF5 Y LF6				
CONSIGNA: LF/LF5/LF6-006		Ed.: 21ª		28/01/2021		
Fecha: 28-01-2021		Aprobada por: O. Bengoa				
Consigna a cumplir		❖ Copia no controlada una vez impresa ❖				
¿Cuándo?						
Para confeccionar gamas de pasadas en los procesos de fabricación de laminación en frío en LF5 y LF6. La reducción vendrá dada por la siguiente fórmula:						
$\% R = \frac{Ee - Es}{Ee} \times 100 \quad \text{donde } Ee \text{ (espesor entrada) y } Es \text{ (espesor salida).}$						
¿Cómo?						
		Material duro o del LC2			Material Recocido (intermedio)	
	Aleación	Espesor entrada	Reducción máxima por pasada	Excepciones	Espesor entrada	Reducción máxima por pasada
Material procedente de placa	1xxx	Todos	58%	Esp. Ent. 4mm (LC2). Máx LF6=45% 1085: 48% 1090: 48% 1080: 48%	Todos	58%
	8xxx	Todos	62%	Esp. Ent. 4mm (LC2). Máx LF6=57,5% 8006 ancho >1500 mm. Máx: 54%	Todos	58%
	3003	≥7mm <7mm	54,3% 55,5%		Todos	55,5%
	3004	≥7mm <7mm	38% 42%		>1mm ≤1mm	45% 50%
	3005	≥7mm <7mm 1 y 2mm <1mm	46% 45% 44% 45%	Esp. Ent. 4mm (LC2) y ancho >1400mm. Máx LF6=35%	>1mm ≤1mm	45% 50%
	3105	Todos	52%		Todos	55%
	3102	≥7mm	52%		Todos	55%
	3103	<7mm	54%			
	4006					
	Material pr	5754-02	Todos	33%		Todos
5754-06						
5754-04		Todos	32%		Todos	32%
5754-05						
5083		Todos	23%		Todos	23%
5251		Todos	45%		Todos	45%
6181						
5050		Todos	42%		>1mm ≤1mm	45% 50%
5150						
5657						
5505						
5049		≥4mm	37%		Todos	37%
5052		≥3mm	38%			
5154	<3mm	37%				
5454						
5xxx (resto)	Todos	50%	Esp. Ent. 4mm. Máx LF6=40%	Todos	50%	
CC	1xxx	≥7mm	45%		>1mm	55%
	8xxx	<7mm	55%		≤1mm	56%

ANEXO III

En este Anexo se adjunta la consigna del espesor y del ancho que es capaz de procesar cada uno de los laminadores. Estos valores no se deberán exceder bajo ningún concepto. Esta consigna es utilizada en el apartado número 7.

LF		Dimensiones máximas y mínimas de los productos a laminar en LF5 y LF6	
CONSIGNA: LF-LF5-LF6-024		Ed.: 4ª	06/03/2020
Fecha: 06/03/2020		Aprobada por: O. Bengoa / D.Pastor	
Consigna a cumplir		❖ Copia no controlada una vez impresa ❖	
<u>Objetivo</u>			
Definir las dimensiones máximas y mínimas de los productos a laminar en LF5 y LF6.			
<u>Dimensiones comunes en ambos laminadores</u>			
Diámetro exterior máximo 2.000 mm			
Diámetro del hueco mínimo 600 mm			
<u>Espesor y ancho de los productos a laminar en LF5</u>			
CARACTERÍSTICA			LF5
ANCHO (mm)	-	MÍNIMO	800
		MÁXIMO	1580
ESPESOR (mm)	ENTRADA	MÁXIMO	<ul style="list-style-type: none"> • Familia 1(1xxx, 3xxx (excepto 3004), 5005, 8xxx): 10 mm • Familia 2 (5xxx (excepto 5005), 3004): 8 mm *Excepciones: 5657 – 10 mm 5052 – 8,5 mm
	SALIDA	MÍNIMO	1,5
<u>Espesor y ancho de los productos a laminar en LF6</u>			
CARACTERÍSTICA			LF6
ANCHO (mm)	-	MÍNIMO	800
		MÁXIMO	1800
ESPESOR (mm)	ENTRADA	MÁXIMO	<ul style="list-style-type: none"> • Familia 1(1xxx, 3xxx (excepto 3004), 5005, 8xxx): 4 mm • Familia 2 (5xxx (excepto 5005), 3004): 3 mm
	SALIDA	MÍNIMO	0,15
<u>Observaciones</u>			
Algunas de estas características podrían ser modificadas para casos particulares y siempre bajo consulta			

ANEXO IV

En este Anexo se adjunta un diagrama de flujo completo de la empresa, donde aparecen tanto las máquinas, como los flujos de material y los flujos de energía. Este diagrama se ha extraído de un documento realizado por la empresa Ondoan S.Coop, encargada de llevar a cabo un Plan de Autoprotección de la planta de Amorebieta.

