

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

AUMENTO DE LA CAPACIDAD DE UN LAMINADOR EN CALIENTE

Estudiante	<i>García, Markaida, Julen</i>
Director/Directora	<i>Ortega, Rodríguez, Naiara</i>
Departamento	Ingeniería Mecánica
Curso académico	<i>2020-21</i>

Bilbao, 30, Julio, 2021

RESUMEN

Este documento es la presentación de un proyecto realizado para aumentar la capacidad de un laminador en caliente. En primer lugar, se contextualizará el trabajo en el sector del aluminio, mencionando sus características, aplicaciones y posición de mercado. A continuación, el documento se centrará en el ejemplo de un laminador en caliente perteneciente a la empresa Aludium cuya planta está situada en la localidad de Amorebieta.

El objetivo es realizar un proyecto para aumentar la productividad del laminador centrándose en varios aspectos como lo son el tiempo entre bobinas, tiempo entre pasadas y reducción de material a recorte.

Se plantearán varias alternativas para llevar a cabo el proyecto y una vez elegida la alternativa más adecuada, se procederá a explicar el método para el análisis tanto de los datos obtenidos del laminador, como de los resultados y modificaciones realizadas.

ABSTRACT

This document is the presentation of a project carried out to increase the capacity of a hot rolling mill. First of all, the work will be contextualized in the aluminum sector, mentioning its characteristics, applications and market position. Then, the paper will focus on the example of a hot rolling mill belonging to the company Aludium, whose plant is located in the town of Amorebieta.

The objective is to carry out a project to increase the productivity of the rolling mill focusing on several aspects such as time between coils, time between passes and reduction of material to be trimmed.

Several alternatives will be proposed to carry out the project and once the most suitable alternative has been chosen, the method for the analysis of the data obtained from the rolling mill, as well as the results and modifications made, will be explained.

LABURPENA

Dokumentu hau beroko ijezkailu baten gaitasuna handitzeko egindako proiektu baten aurkezpena da. Lehenik eta behin, lana aluminioaren sektoreko testuinguruan kokatuko da, haren ezaugarriak, aplikazioak eta merkatu-posizioa aipatuz.

Jarraian, Zornotzako Aludium enpresako beroko ijezkailu baten adibidean zentratuko da dokumentua.

Helburua ijezkailuaren produktibitatea handitzeko proiektu bat egitea da, hainbat

alderdiri erreparatuz, hala nola bobinen arteko denborari, iraganaldien arteko denborari eta moztutako materialaren murrizketari. Proiektua gauzatzeko hainbat aukera planteatuko dira, eta aukerarik egokiena hautatu ondoren, ijezkailutik lortutako datuak, emaitzak eta egindako aldaketak aztertzeko metodoa azalduko da.

ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT.....	2
LABURPENA	2
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
1. Introducción.....	7
2. Contexto	8
2.1 Propiedades	8
2.2 Producción del aluminio.....	9
2.2.1 Producción de aluminio en el mundo.....	9
2.2.2 Producción de aluminio en España	10
2.2.3 Producción de aluminio en la Comunidad Autónoma Vasca	11
2.3 Aplicaciones del aluminio.....	11
2.3.1 Envases	11
2.3.2 Sector eléctrico	12
2.3.3 Construcción.....	12
2.3.4 Medios de transporte.....	12
2.4 Reciclaje del aluminio	13
2.5 Aludium transformación de productos sociedad limitada.....	13
2.5.1 Información general.....	13
2.5.2 Fundición.....	14
2.5.3 Fresadora	14
2.5.4 Hornos de calentamiento	15
2.5.5 Laminación en caliente	15
2.5.6 Laminación en frío.....	17
2.5.7 Acabados y expediciones	18
2.5.8 Departamento de calidad y metalurgia.....	19
3. Objetivos del proyecto	21
3.1 Objetivos parciales	21
3.1.1 Disminución del tiempo entre pasadas (BPT)	21
3.1.2 Disminución del tiempo entre bobinas (BCT).....	21
3.1.3 Mejora en el recovery.....	21
3.2 Objetivos a corto plazo	22
3.2.1 Sistema de medición de variables.....	22

3.2.2	Explotación de la información	22
4.	Beneficios del proyecto	23
4.1	Beneficios técnicos	23
4.2	Beneficios económicos.....	23
5.	Alternativas	24
5.1	Explotación de datos.....	24
5.1.1	Alternativa interna	24
5.1.2	Alternativa externa.....	24
5.1.3	Tabla de ponderación	24
5.2	Monitorización del proceso.....	26
5.2.1	Uso de la herramienta IBA	27
6.	Metodología.....	29
6.1	Análisis del BCT	29
6.2	Análisis del BPT	33
6.3	Análisis del recovery	35
7.	Resultados.....	37
7.1	Resultados del análisis de los datos de BCT	37
7.2	Resultados del análisis de los datos de BPT	39
7.3	Resultados del análisis de los datos de recovery.....	41
8.	Tareas	43
9.	Diagrama de Gantt.....	45
10.	Descargo de gastos.....	46
11.	Conclusión.....	47
12.	Bibliografía	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ranking de países productores de aluminio [4].....	10
Figura 2: Evolución de la producción de aluminio con el paso de los años [5]	10
Figura 3: Producción de aluminio en España [6]	11
Figura 4: Flujo de producción y chatarra de Aludium	14
Figura 5: Transformación del producto tras laminación en caliente	15
Figura 6: Esquema del laminador en caliente LC2	16
Figura 7: Banda a lo largo de los rodillos del laminador.....	16
Figura 8: Almacén horizontal de bobinas en Aludium (Amorebieta).....	17
Figura 9: Almacén vertical de Aludium (Amorebieta).....	18
Figura 10: Producción de aluminio en la planta de Amorebieta, clasificada por aleaciones.....	19
Figura 11: Layout esquemático de la planta de Aludium en Amorebieta	20
Figura 12: Información de la producción diaria del LC2 dividida por relevos.....	26
Figura 13: Variables medidas mediante el sistema IBA.....	28
Figura 14: Secuencias para la evacuación de bobinas y entrada de nuevas placas.....	32
Figura 15: Tiempo de BCT para los procesos de 1 bobinado y ´más de 1 bobinado.....	37
Figura 16: Campana de Gauss para procesos de aleación 3005.....	38
Figura 17: Campana de Gauss para procesos de aleación 1085.....	38
Figura 18: Cierre de las reglas de salida en pasadas impares	40
Figura 19: Cierre de las reglas de entrada en pasadas pares.....	40
Figura 20: Evolución del recovery del LC2 en los últimos años	42
Figura 21: Diagrama de Gantt.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aleaciones de aluminio [2]	9
Tabla 2: Ponderación de la alternativa 1	25
Tabla 3: Ponderación de la alternativa 2	25
Tabla 4: Tiempo de las secuencias para la evacuación de la bobina	29
Tabla 5: Tiempo de las secuencias para la introducción de la siguiente placa	30
Tabla 6: Ttiempo de las secuencias para preparar la siguiente pasada	31
Tabla 7: Plan de acción para el BCT.....	39
Tabla 8: Plan de acción para el BPT.....	40
Tabla 9: Impacto económico y cuantitativo de las mejoras realizadas	41
Tabla 10: Plan de acción para el recovery.....	42
Tabla 11: Listado de tareas del proyecto.....	45
Tabla 12: Gastos de personal del proyecto	46
Tabla 13: Tabla de material amortizable	46
Tabla 14: Tabla de gastos de material fungible	46
Tabla 14: Tabla global del descargo de gastos	47

1. Introducción

En este trabajo se van a estudiar las opciones que existen para aumentar la capacidad de un laminador en caliente de aluminio en la planta situada en Amorebieta, perteneciente a la empresa Aludium.

En primer lugar, se va a comenzar poniendo en contexto las características del material, su obtención y producción. Además, se va a mencionar su situación dentro del mercado tanto a nivel mundial como a nivel nacional y local. También se nombrarán las aplicaciones para las que se utiliza el aluminio hoy en día y las ventajas que se obtienen respecto a otros materiales gracias al uso de aluminio. Para finalizar poniendo en contexto el trabajo, se explicará brevemente la situación y el funcionamiento de la empresa Aludium centrándose concretamente en la planta situada en Amorebieta. Se hará una breve descripción de las diferentes áreas que hay en la planta, mencionando el proceso a realizar las máquinas de cada zona de la planta.

Una vez contextualizado el trabajo, se definirán los objetivos del proyecto. Estos serán objetivos parciales y objetivos a corto plazo. Todos ellos unidos en la consecución del objetivo principal del proyecto: aumentar la productividad del laminador en caliente.

A continuación, se explicarán los beneficios que se van a obtener con la realización de este proyecto. Estos beneficios serán técnicos y económicos.

Posteriormente se nombrarán las alternativas que existen para llevar el proyecto a cabo y se procederá al análisis de las mismas para su cumplimiento.

Una vez hecho el análisis de las alternativas planteadas se obtendrá una solución que marcará que objetivos han sido capaces de cumplirse dado la situación actual que atraviesa la planta y, además, se identificarán las oportunidades de mejora que existen para la mejora continua del laminador en caliente, y por consiguiente, de la planta en su totalidad.

Se hará mención a las tareas llevadas a cabo para el cumplimiento del proyecto acompañándolas con un GANTT y se realizará un presupuesto para valorar los gastos que ha supuesto la realización del proyecto.

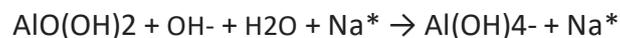
Finalmente, el trabajo terminará con el apartado de las conclusiones, donde se valorarán y comentarán los resultados obtenidos.

2. Contexto

2.1 Propiedades

La industria del aluminio ocupa un papel muy importante en la actualidad gracias a las propiedades que ofrece dicho material. Es un metal ligero con una densidad de 2700 kg/m³ y un punto de fusión relativamente bajo (660°C). Además, el óxido de aluminio, también conocido como alúmina, sirve para protegerlo de la corrosión, siendo esto último una gran ventaja respecto a otros metales como, por ejemplo, el acero. Respecto a su conductividad térmica (entre 80 y 230 W/(m*K)) y eléctrica (entre 35 y 38 m/(Ω*mm²)) se puede afirmar que en ambos casos es un buen conductor. En cuanto a sus propiedades mecánicas, dependiendo de la aleación, se pueden llegar a obtener resistencias mecánicas de 690 MPa.

Otra gran ventaja es que el aluminio es uno de los elementos más abundantes en el mundo, detrás del oxígeno y el silicio. Solo se verá limitado por la gran cantidad de energía eléctrica que hace falta emplear en el proceso de su obtención. El proceso de obtención del aluminio se realiza en dos fases, proceso Bayer [1] y electrolisis. En el proceso Bayer se extrae la alúmina a partir de la bauxita, usando hidróxido sódico y aplicando temperaturas y presiones altas, mediante la siguiente reacción química:



Una vez obtenida la alúmina, se procede a realizar la electrolisis y obtener así el aluminio puro que suele oscilar entre un 99,5% y 99,9% de pureza. Normalmente se obtienen lingotes o placas. En este proceso se emplean entre 17 y 20 MWh de energía y se consumen alrededor de 450 kg de carbono por cada tonelada de aluminio que se obtiene. Estas cantidades suponen un coste entre un 25% y un 30% del precio final del producto, siendo el aluminio uno de los metales más caros de obtener. Para hacerse una idea, se necesitan cuatro toneladas de bauxita para producir dos toneladas de alúmina, que, a su vez, producen una tonelada de aluminio.

En cuanto a las aleaciones, cabe destacar que existen varias series dependiendo de los elementos añadidos al aluminio (Tabla 1).

Familia de aluminio	Designación
Aluminio puro, 99% mínimo	1xxx
Aluminio-Cobre	2xxx
Aluminio-Manganeso	3xxx
Aluminio-Silicio	4xxx
Aluminio-Magnesio	5xxx
Aluminio-Magnesio-Silicio	6xxx
Aluminio-Zinc	7xxx
Otros elementos, Al-Sn, etc.	8xxx

Tabla 1: Aleaciones de aluminio [2]

Dependiendo de los diferentes elementos con los que sea aleado, el aluminio obtendrá unas propiedades mecánicas diferentes en cada caso, logrando así, adaptarse a los requerimientos metalúrgicos exigidos por diferentes clientes.

Dependiendo de sus requerimientos finales, en las etapas posteriores del proceso el aluminio se puede transformar de diferentes maneras. Uno de los métodos más comunes es la laminación de las placas de aluminio con el objetivo de conseguir bobinas con un espesor fino para sus aplicaciones posteriores. Dependiendo del objetivo final, también se pueden obtener chapas. Otro proceso habitual es la extrusión de perfiles que se usan principalmente en la construcción.

2.2 Producción del aluminio

2.2.1 Producción de aluminio en el mundo

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el aluminio es uno de los metales más caros de producir. En el año 2020 se produjeron más de 67 millones de toneladas de aluminio en todo el mundo [3], siendo China el país que más produjo (37 millones de toneladas) con una clara ventaja respecto a sus perseguidores. En concreto, más del 50% del aluminio que se produce cada año, es producido por China. A continuación, se muestra el ranking de producción de los diferentes países (Figura 1).

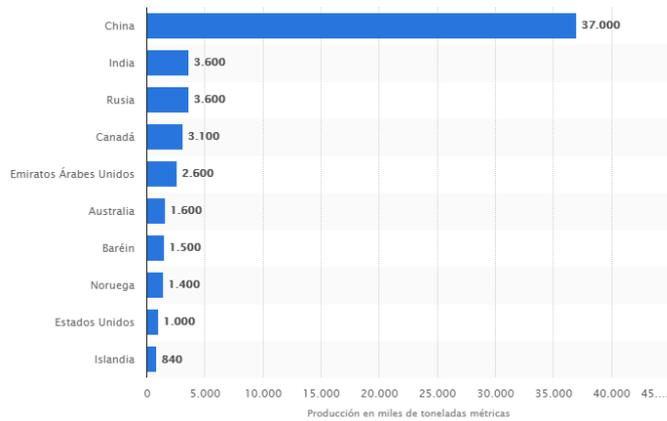


Figura 1: Ranking de países productores de aluminio [4]

En cuanto a la producción en los últimos años, se puede deducir que el aluminio es un metal que se produce y consume cada vez más con el paso del tiempo (Figura 2).

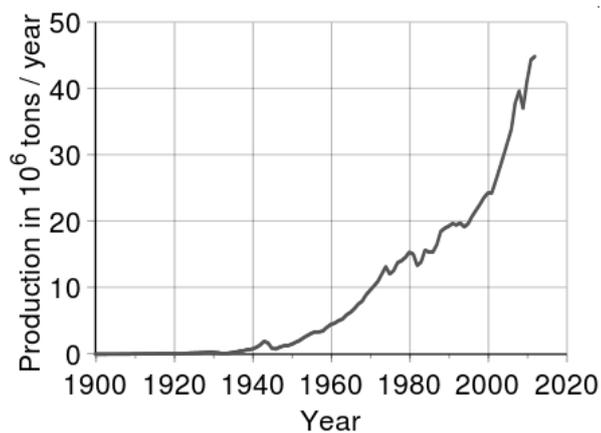


Figura 2: Evolución de la producción de aluminio con el paso de los años [5]

2.2.2 Producción de aluminio en España

A nivel nacional, es un sector que pese a tener altibajos, mantiene una cierta consistencia dentro del sector del metal en España y se sitúa alrededor de las 350.000 toneladas al año (Figura 3).

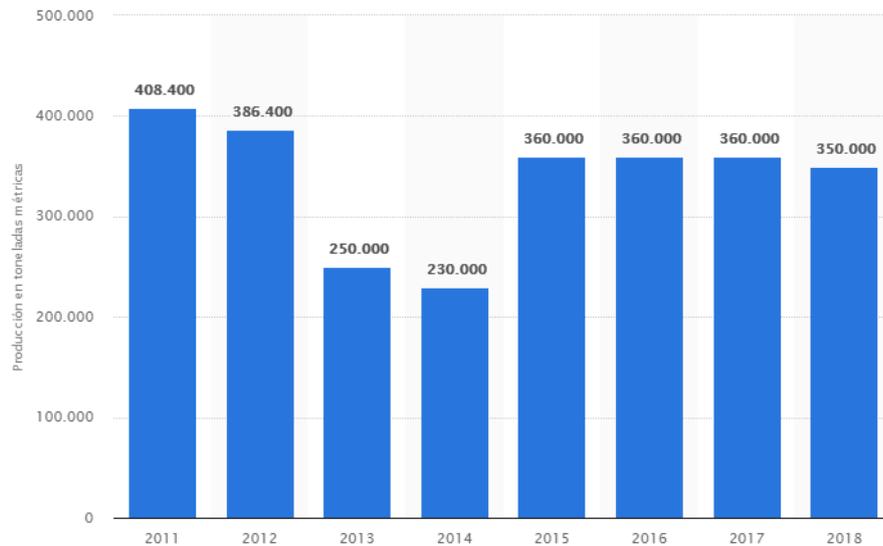


Figura 3: Producción de aluminio en España [6]

En España hay grandes empresas que producen aluminio. Entre ellas se encuentran Aluminio Español SI, Aludium Transformación De Productos Sociedad Limitada, Alcoa Inespal, Befesa aluminio SLU...

Estas empresas se dedican principalmente a la producción de bobinas (aluminio laminado), perfiles extruidos y chapas para su posterior comercialización en el mercado.

2.2.3 Producción de aluminio en la Comunidad Autónoma Vasca

A nivel local, Euskadi se sitúa como una gran potencia dentro de la industria del aluminio a nivel estatal. Hay que destacar que tanto Befesa Aluminio SLU y Aludium Transformación de Productos Sociedad Limitada, son empresas que tienen plantas de producción en Euskadi. En el caso de Aludium Transformación de Productos Sociedad Limitada, empresa relacionada con este trabajo, hay que destacar que cuenta con una plantilla de 582 trabajadores en la planta de Amorebieta y que a todos ellos hay que sumarles todos los trabajadores de las empresas subcontratadas. Se puede afirmar que el aluminio es una rama importante dentro del sector del metal vasco.

2.3 Aplicaciones del aluminio

Dependiendo de sus aleaciones el aluminio tiene diferentes aplicaciones. Hoy en día el aluminio es uno de los metales más utilizados después del acero y el hierro debido a su gran variedad de usos:

2.3.1 Envases

Uno de los usos más populares es el conocido papel de aluminio que se usa para el embalaje alimentario, siendo también muy común la fabricación de latas y tetrabriks.

2.3.2 Sector eléctrico

El aluminio posee buenas propiedades eléctricas y es capaz de competir con materiales como el cobre cuando el peso sea un requisito importante. En el caso de las redes eléctricas suele ser un material muy competitivo.

2.3.3 Construcción

Al tratarse de un material fuerte, resistente, duradero y de bajo peso el aluminio se ha convertido en un material muy utilizado en la construcción. Además, sus características estéticas invitan a su uso.

Es un material muy adecuado para ventanas, puertas, barandillas, rejillas o perfiles, pero es cada vez más común utilizarlo en las estructuras de mayor peso de los edificios como las fachadas, cerramientos, muros...



Figura 4: edificio con fachada de aluminio [7]

2.3.4 Medios de transporte

Gracias a su baja densidad el aluminio tiene grandes ventajas respecto a otros metales en el sector del transporte. Al ser un metal más ligero, cualquier tipo de vehículo requiere menos cantidad de energía para su movimiento, sin comprometer la seguridad ni el confort. También posee la misma resistencia con aproximadamente un tercio del peso de otros metales como el acero. Debido a su resistencia a la corrosión, los componentes de los medios de transporte ganan durabilidad.

Se pueden fabricar gran cantidad de piezas partiendo de chapas de aluminio mediante procesos de embutición o estampación. Se fabrican tanto elementos decorativos como componentes estructurales de los vehículos en cuestión.



Figura 5: aplicación de aluminio en la automoción [8]

2.4 Reciclaje del aluminio

Hoy en día el reciclaje es una práctica muy importante dentro de la industria del aluminio. El metal puede ser reciclado tras su uso primario, para poder reutilizarlo en otros productos. El proceso se lleva a cabo refundiendo el metal en un horno, lo que supone un ahorro muy importante de energía. Como se ha mencionado anteriormente, el consumo de energía en la producción del aluminio es un gran inconveniente, y mediante el reciclaje solamente se gasta un 5% de la energía consumida usando el proceso Bayer.

El reciclaje no afecta a la estructura del aluminio, y puede ser reciclado indefinidamente para producir nuevos productos. Productos que requieren un material ligero pero a su vez fuerte y con alta conductividad térmica, así como aeronaves, automóviles, bicicletas, ordenadores, cables... son una fuente de la que se usa el aluminio para su posterior reciclaje.

Aun teniendo en cuenta los costes de recogida, separación y reciclaje, el aluminio produce muchos ahorros económicos y energéticos. Estos ahorros se producen también a nivel nacional suponiendo una reducción de capital necesario para el transporte de la materia prima.

A nivel medioambiental, los beneficios del reciclaje del aluminio también son grandes. Las emisiones de dióxido de carbono en el reciclaje comparadas con la producción desde la materia prima son únicamente del 5%. Teniendo en cuenta el ciclo completo de extracción desde la mina hasta su transporte posterior, este porcentaje del 5% disminuye aún más.

Para tener un ejemplo mucho más visual, la producción de una lata de aluminio requiere un 95% menos de energía produciéndose con aluminio reciclado que con aluminio desde materia prima.

2.5 Aludium transformación de productos sociedad limitada

2.5.1 Información general

Aludium es una entidad que se creó en 2014 al hacerse con la propiedad de tres antiguas fábricas de Alcoa, dos de ellas en España (Amorebieta y Alicante) y una en Francia (Castelsarrasin). Además de las fábricas, existe un centro de investigación y desarrollo del Aluminio situado en España. La empresa pertenece al grupo Atlas Holdings, grupo industrial global dedicado al crecimiento de empresas industriales con un horizonte de inversión a largo plazo.

La empresa cuenta con más de 800 empleados y hace gran hincapié tanto en la calidad de sus productos como en el reciclaje del aluminio mediante un horno situado en Amorebieta donde se recicla gran parte de la chatarra surgida en el proceso. Además, Aludium tiene la intención de mantener el enfoque en los mercados que actualmente opera:

- Construcción y edificación
- Decoración y adorno interior
- Productos de brillo
- Productos industriales

Dentro de la empresa hay tres plantas importantes en las que se realizan los siguientes procesos:

- Amorebieta: fundición, laminación en caliente, laminación en frío y acabados.
- Alicante: laminación en frío y acabados
- Castelsarrasin: laminación de brillo y acabados.

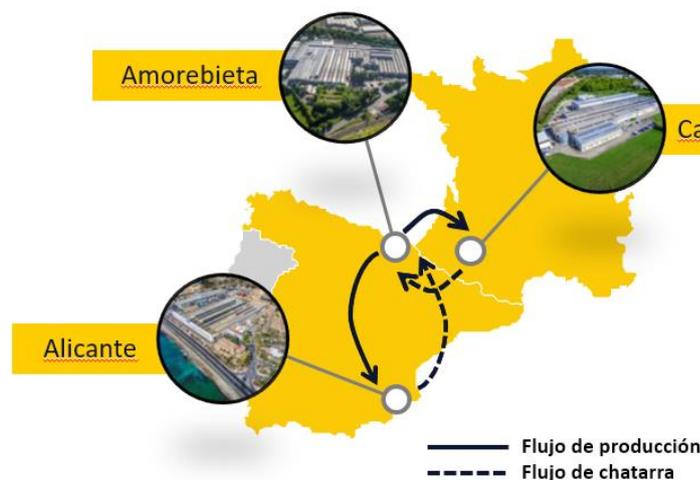


Figura 4: Flujo de producción y chatarra de Aludium

Este trabajo se centra en la planta de Amorebieta, concretamente en el área de laminación en caliente. Aun así, es importante mencionar cómo funciona el proceso en la planta de la localidad vasca.

2.5.2 Fundición

En primer lugar, está el área de fundición. Allí se producen placas de aluminio en el horno HF4 partiendo de la materia prima obtenida de los proveedores. También se compran placas a otras empresas del exterior para completar la demanda de metal exigida en cada caso. Las placas suelen tener una dimensión que oscila entre los 560-590 mm de espesor, 1000-1600 mm de ancho y aproximadamente 5500 mm de largo. Una parte importante de la fundición es el horno que se utiliza para reciclar chatarra tanto de la planta de Amorebieta como de la de Alicante y Castelsarrasin.

2.5.3 Fresadora

En segundo lugar, una vez se obtienen las placas provenientes de la fundición, se encuentra la fresadora FP2. El objetivo es fresar las placas dejando un acabado superficial apto para la posterior laminación. En esta etapa del proceso, dependiendo de la aleación y del proceso posterior, se suele rebajar el espesor de la placa 10 mm aproximadamente por cada cara.

2.5.4 Hornos de calentamiento

Una vez se encuentran las placas fresadas, se depositan en el denominado parque de placas para su posterior entrada a los hornos de recalentamiento. El material recibe una serie de tratamientos térmicos dentro de los hornos, que son necesarios para su posterior laminación en caliente. La planta dispone de 3 hornos de las mismas características: HC5, HC6 y HC7. En cada uno de ellos caben 21 placas simultáneamente. Las placas son introducidas a los hornos mediante una grúa que las deposita en los carriles de entrada a los mismos. Posteriormente, cuando su tratamiento térmico haya finalizado, saldrán directas del horno correspondiente al eje del laminador.

2.5.5 Laminación en caliente

Una vez estén las placas a una temperatura óptima para ser laminadas, son introducidas en el laminador en caliente LC2. Este laminador tiene 380 metros de largo y es capaz de laminar placas de un ancho entre 1000-1770 mm y reducirlas a un espesor de hasta 4mm. Normalmente las placas suelen entrar con un espesor de 560-580 mm y salen con un espesor de entre 8 y 10 mm, habiendo numerosas excepciones.

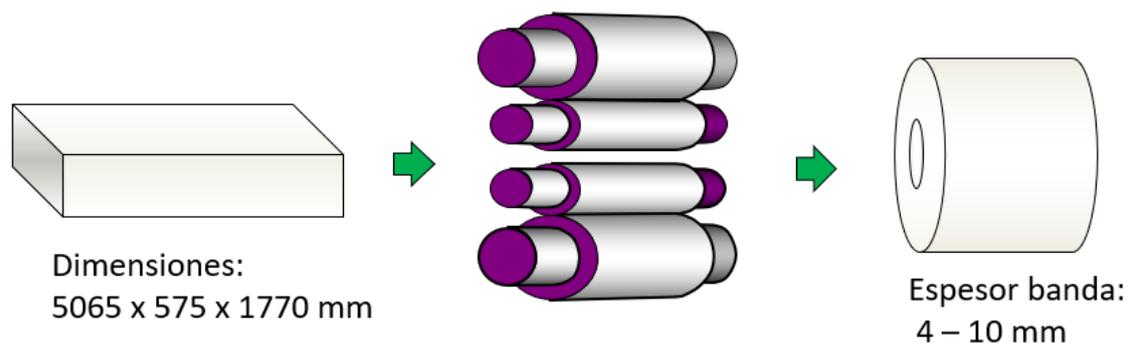


Figura 5: Transformación del producto tras laminación en caliente

El laminador está compuesto por rodillos troncocónicos motorizados para facilitar el movimiento de la banda de aluminio hacia los cilindros de trabajo (Figura 6). Los cilindros de trabajo están sujetos por un paquete de ampuestas que a su vez está unido a los cilindros de apoyo, necesarios para soportar los esfuerzos que se producen en la laminación. El posicionamiento de los cilindros de trabajo se realiza mediante los gatos mecánicos (parte superior) y gatos hidráulicos (parte inferior) situados en la caja del laminador, ajustándose así al espesor requerido en cada pasada.

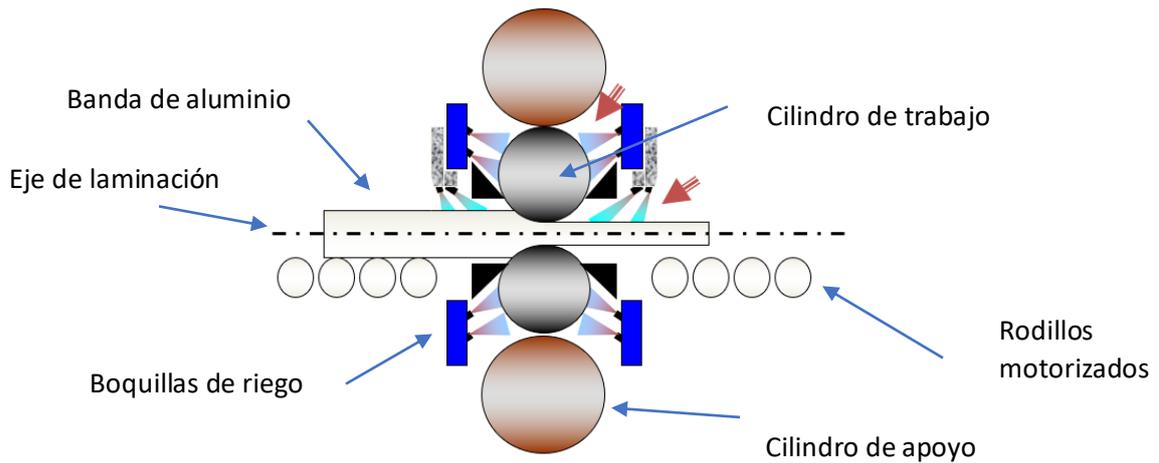


Figura 6: Esquema del laminador en caliente LC2

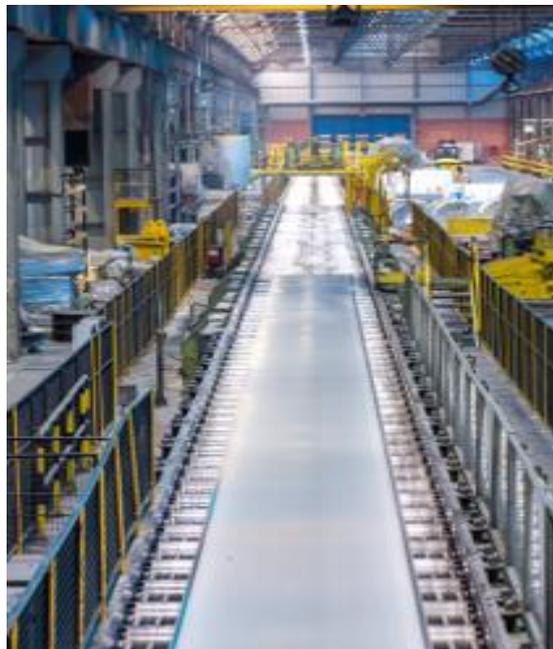


Figura 7: Banda a lo largo de los rodillos del laminador

El laminador también dispone de 4 reglas (2 de entrada y 2 de salida) que se encargan de centrar la banda de aluminio respecto al eje del laminador. Además, existen 3 cizallas, 2 para el despunte de las colas y las puntas de la banda, y una para el corte de bordes en la última pasada. Normalmente las puntas y colas quedan más deformadas y dañadas en el proceso y son de difícil laminación.

Al finalizar el proceso, la banda de aluminio se enrolla en la bobinadora de salida o de entrada una o varias veces (máximo 4 bobinados), pero siempre finalizará su proceso enrollándose en la bobinadora de salida, que es donde se encuentra el carro de evacuación de las bobinas laminadas. Hay que tener en cuenta que en el proceso de laminación en caliente el material sale del laminador entre 330°C y 400°C.

Para la correcta laminación el material es necesario el uso adecuado de la emulsión prácticamente en la totalidad del laminador. La emulsión está compuesta por agua y aceite y su objetivo es el de lubricar bien tanto los cilindros de trabajo como los rodillos por los que circula la banda. La refrigeración también será un aspecto importante, sobre todo en las zonas en las que el metal se reduzca de espesor. Es muy importante el hecho de que la laminación y lubricación se hagan de una forma simétrica para evitar diferencias de temperatura, y por lo tanto, diferentes deformaciones del material. Toda esta emulsión tiene un sistema de recogida en las cubas del laminador, y es transportada a un sistema de filtros para su limpieza y nuevo uso.

En cuanto a los sistemas de medición de calidad, el laminador incorpora un medidor de espesor y otro medidor de perfil de la banda. Los medidores actúan en cada pasada proporcionando las medidas y enviándolas al sistema de control del laminador para que, de detectarse algún tipo de desviación, el manipulador pueda actuar para corregir ambas variables manualmente.

Las bobinas producidas en el LC2 irán directamente bien al almacén horizontal de la planta, donde caben 180 bobinas simultáneamente, o bien serán expedidas tanto a la planta de Alicante como a otros clientes (BMW, Euramax...) vía camiones.



Figura 8: Almacén horizontal de bobinas en Aludium (Amorebieta)

Una vez el material se haya enfriado hasta temperatura ambiente en el almacén horizontal, las bobinas serán transportadas mediante carros guiados hasta el área de laminación en frío.

2.5.6 Laminación en frío

En el área de laminación en frío hay dos laminadores LF5 y LF6 y seis hornos de recocido para tratamientos intermedios entre pasadas. Las pasadas se realizan a temperatura ambiente. Las bobinas vienen desde el área de laminación en caliente y llegan al laminador LF5 donde se efectuarán una o varias pasadas a la bobina en cuestión. Este laminador es capaz de laminar bobinas con un espesor final desde 6 mm a 1 mm. En

condiciones de trabajo habituales, el LF5 suele ser el cuello de botella de la planta de Amorebieta, aunque esto suele variar dependiendo de averías, pedidos etc.

Posteriormente, las bobinas que necesiten más pasadas continuarán su proceso en el laminador LF6, o pasarán por los hornos de recocido. El LF6 es capaz de laminar bobinas a un espesor de salida de entre 3mm y 0.15mm. Una vez que las bobinas han sido laminadas en frío, continuarán hacia el área de acabados o se depositarán en el almacén vertical.



Figura 9: Almacén vertical de Aludium (Amorebieta)

2.5.7 Acabados y expediciones

Finalmente, en el área de acabados y terminaciones se realizarán las últimas operaciones del proceso antes de enviar el producto final al cliente. En esta área se encuentran diferentes tipos de máquinas:

- Máquinas para chapas: CA4 y CA5
- Aplanadora: AB1
- Máquinas de corte: CC10 y CC11

En las máquinas para chapas se cortan bobinas a medida que se van desenrollando. Ambas máquinas son capaces de cortar espesores entre 6mm y 1.5mm. A medida que se van produciendo las chapas, éstas se irán acumulando en los pallets con los que se cargarán los camiones para expedirlas al cliente.

En cuanto a la aplanadora, las bobinas son introducidas y desbobinadas en la máquina para aplanarlas bajo tensión y lograr así los requerimientos exigidos por el cliente.

En las máquinas de corte las bobinas son cortadas en varios rollos antes de su expedición.

2.5.8 Departamento de calidad y metalurgia

Una vez finalizado el proceso, se realizan las inspecciones desde el departamento de calidad y metalurgia con el objetivo de satisfacer los requerimientos de los clientes. El procedimiento consiste en sacar muestras de cada bobina con el objetivo de analizarlas posteriormente en las máquinas o en el laboratorio, y detectar así los posibles defectos para evitar reclamaciones del cliente.

Desde el departamento de calidad también se realizan controles diversos en puntos intermedios del proceso en los productos críticos. Además, se lleva un control de la calidad del aceite de laminación y de la emulsión para evitar problemas y garantizar una laminación adecuada durante todo el proceso.

Hay que destacar el tipo de productos que se producen en Amorebieta clasificándolos por aleaciones (Figura 10).

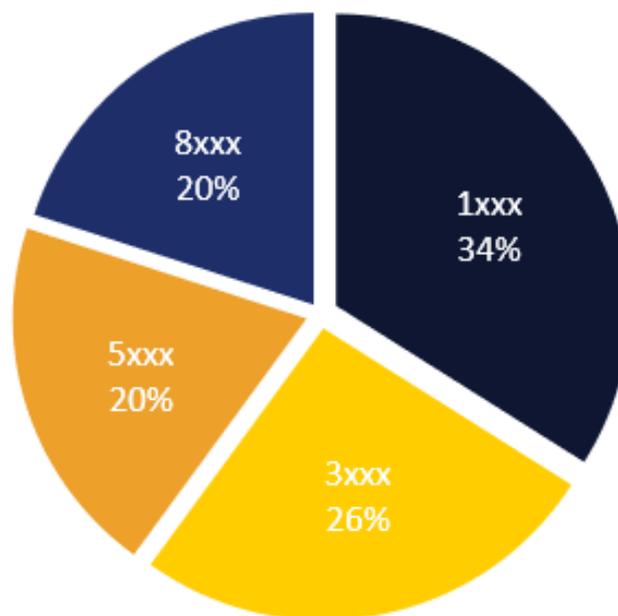


Figura 10: Producción de aluminio en la planta de Amorebieta, clasificada por aleaciones

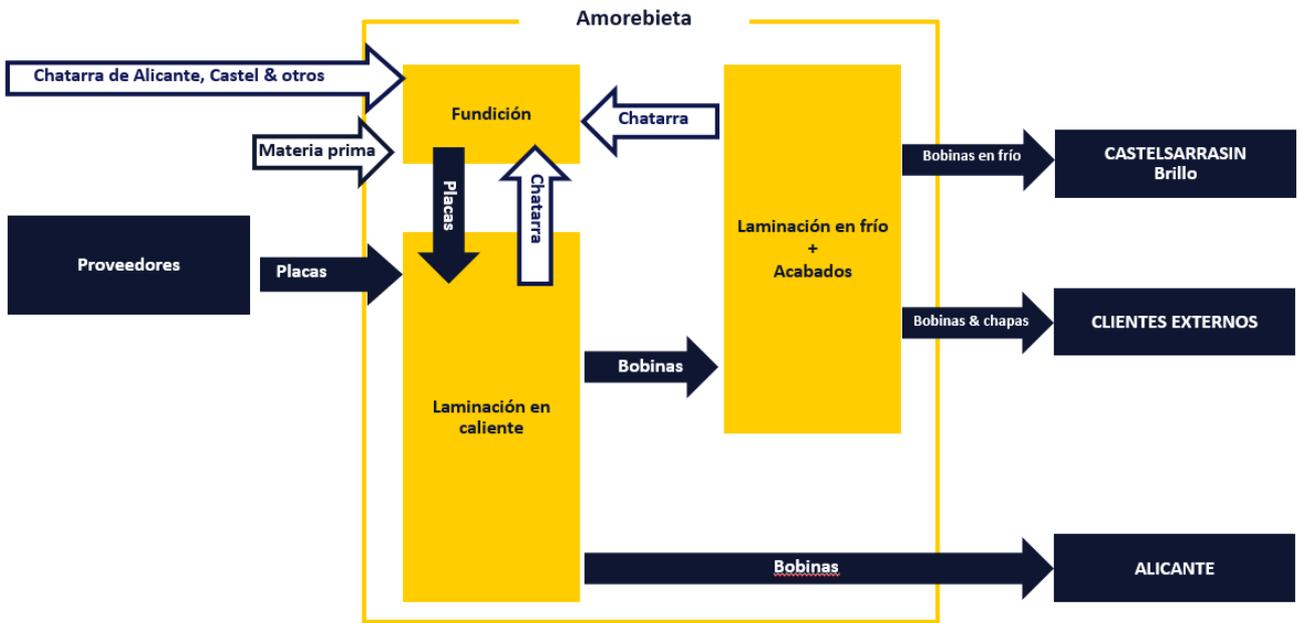


Figura 11: Layout esquemático de la planta de Aludium en Amorebieta



Figura 12: Esquema de la planta de Aludium en Amorebieta

3. Objetivos del proyecto

El objetivo principal es aumentar la productividad del laminador en caliente LC2 que se encuentra en la fábrica de Amorebieta. Dentro del concepto de productividad entran en juego varios parámetros dependientes (BCT, BPT, Recovery). Disminuyendo el tiempo que transcurre entre que se lamina cada bobina (BCT), tiempo que transcurre entre cada pasada (BPT) y reduciendo el porcentaje de material que se pierde durante el proceso de laminación (recovery), se logrará un aumento de productividad.

Para lograr el objetivo principal, en primer lugar, será necesario alcanzar una serie de objetivos parciales. El cumplimiento de estos objetivos supondrá, en mayor o menor medida, una mejora del objetivo principal.

3.1 Objetivos parciales

3.1.1 Disminución del tiempo entre pasadas (BPT)

Por cada placa que se lamina en una bobina, hay una serie de pasadas necesarias reduciéndose su espesor inicial. El tiempo que transcurre desde la finalización de una pasada hasta el inicio de la siguiente, es denominado como BPT. Entre la preparación de cada siguiente pasada, se pierde un tiempo que afecta negativamente a la productividad.

3.1.2 Disminución del tiempo entre bobinas (BCT)

Se denomina BCT al tiempo que transcurre desde que se termina de laminar una bobina hasta que se empieza a laminar la siguiente placa. El objetivo es optimizar las secuencias de la máquina (entrada de placa y evacuación de bobina) de tal forma que no se pierda tiempo entre bobinas.

3.1.3 Mejora en el recovery

El recovery es el término que se usa para medir el % de material que entra al laminador comparado con el que sale al finalizar la laminación. En todo el proceso se pierde material debido a los despuntes de cola y punta de la banda además del corte de bordes en la última pasada.

El proceso de despunte consiste en cortar tanto la punta como la cola de la banda mediante una cizalla. Una vez la banda es reducida a un cierto espesor (dependiendo del proceso, oscila entre los 75 y 60 mm), en la cizalla se realiza el corte de la punta y posteriormente la cola, para evitar el fenómeno conocido como "cocodrilo". Este fenómeno puede provocar grietas en procesos de laminación posteriores que, al propagarse, dividirían la banda de aluminio en dos trozos (abriéndose como una boca de un cocodrilo) empezando desde la punta hacia el interior de la banda.

Hay que destacar la importancia que tiene realizar un corte apropiado para cada proceso para garantizar la calidad del producto y a su vez, intentar optimizar la cantidad de material para no desperdiciarlo en vano.

En cuanto al proceso del corte de bordes, se realiza en la última pasada en el laminador en caliente a la salida, cuando ya la totalidad de la banda se encuentra al espesor final de dicho proceso. El corte de bordes se realiza mediante dos cizallas que cortan simétricamente la banda entre unos 20 y 30 milímetros por cada lado para garantizar que el ancho de la banda es el deseado y evitar las desviaciones que se pueden producir pese a trabajar con un estado de deformación plana.

Al mejorar el recovery, disminuirán las toneladas de metal que van a chatarra y aumentaran las toneladas de metal producidas en el LC2.

3.2 Objetivos a corto plazo

3.2.1 Sistema de medición de variables

Implementar un sistema de medición de BCT, BPT y recovery que indique la productividad del LC2 para así poder trabajar en mejorar las desviaciones más notables.

3.2.2 Explotación de la información

Ser capaces de exportar la información lograda mediante las señales emitidas por el laminador a archivos Excel para su posterior análisis en busca de oportunidades de mejora, detección de desviaciones etc.

4. Beneficios del proyecto

Con el proyecto de aumento de capacidad del laminador en caliente se van a obtener los siguientes beneficios.

4.1 Beneficios técnicos

El laminador en caliente LC2 tiene una capacidad marcada por sus días de trabajo (todo el año, a 3 relevos diarios), utilización de máquina, productividad y recovery.

Dado que la utilización de la máquina depende de las averías (mantenimiento correctivo) y del mantenimiento preventivo, se aumentará su capacidad con el incremento en productividad y en recovery.

Al implementar las acciones para mejorar en ambos campos, los procesos quedarán más optimizados respecto a la situación previa. Esto supondrá que el flujo de trabajo de la planta en su totalidad se verá afectado por las mejoras y se disminuirán los casos en los que el laminador LC2 sea un problema para la planta.

4.2 Beneficios económicos

A medida que aumente la productividad del laminador, aumentarán las toneladas producidas por hora útil. Suponiendo que el laminador está trabajando el mismo tiempo, la producción será mayor. A mayor producción, se entregarán más pedidos al cliente y por lo tanto el beneficio económico crecerá en relación con el aumento de la productividad.

Sabiendo que el aluminio tiene un valor aproximado de 2€/kg se puede calcular cuánto supondría el aumento de la productividad en dinero.

Supóngase que el laminador trabaja según sus objetivos previstos para cada mes, es decir, tiene una utilización del 68,5% del tiempo. Centrándose en el ejemplo de un mes de 30 días, disponemos de unas 720 horas de trabajo, que multiplicadas por el porcentaje de utilización daría 493,2 horas útiles al mes. En ese mismo mes el objetivo de toneladas de metal producidas se sitúa en 679 toneladas. Por lo tanto, la productividad sería de 41,3 toneladas por hora útil.

Continuando con el ejemplo, y aportando valores numéricos para poder ver el efecto de un modo más práctico, un aumento de la productividad de 0,5 toneladas/hora útil supondría que, si la máquina funcionase el mismo tiempo, se producirían unas 682 toneladas. Es decir, se aumentaría la producción en 3 toneladas que, a su vez, supondría un beneficio de 6000€. Estos cálculos serán extrapolables a cualquier variación de productividad obtenida en el proceso.

5. Alternativas

5.1 Explotación de datos

En primer lugar, se debe valorar la posibilidad de realizar los trabajos para la explotación de los datos del laminador de una manera interna (departamento de informática) o externa (empresa del exterior).

Actualmente esos datos están registrados en los ordenadores de la planta. Gracias al sistema de control del laminador, todos los datos de cada bobina que produzca el laminador quedan registrados, pero trabajar con ellos de una manera eficaz es una tarea muy ardua. Es por ello que el ser capaces de exportar la información a unos archivos con los que realmente se pueda trabajar de una manera mucho más eficaz, facilitará mucho el análisis de la información.

Para ello, se plantea tanto la alternativa interna como la externa.

5.1.1 Alternativa interna

Se solicita al departamento de informática la posibilidad de realizar la tarea de exportar la información almacenada en el laminador del tiempo entre pasadas, tiempo entre bobinas y productividad a un archivo Excel de fácil acceso.

Debido a la antigüedad del sistema operativo con el que trabajan los PLCs que se encargan del control del laminador, la licencia del programa de captación de las señales no es compatible con dichos ordenadores y los informáticos de la empresa no pueden realizar la tarea.

5.1.2 Alternativa externa

Se valora contactar con la empresa de informática Ingenet, con la que ya hay previa relación para otros trabajos de la planta. El método que propone Ingenet es colocar un ordenador en paralelo a los PLCs con su licencia de captación de datos correspondiente y compatible con un sistema operativo actual. Para ello es necesario obtener una licencia que permita la captura de todos los datos necesarios.

Una vez obtenidos la licencia y el ordenador, Ingenet haría el resto del trabajo facilitando el archivo Excel con la información deseada.

5.1.3 Tabla de ponderación

Para evaluar ambas soluciones se realiza una tabla de ponderación indicando los aspectos que ofrece cada solución y la importancia que supondría cada uno de ellos:

Alternativa 1: continuar con el mismo sistema que hay actualmente

Alternativa 2: realizar el proyecto para captar los datos del laminador.

Como criterios se han tenido en cuenta el precio que costaría realizar el proyecto, los beneficios económicos que supondría el proyecto, los beneficios que el proyecto aportaría al proceso de la fábrica y la gestión de la información que se obtendría como consecuencia de realizar el proyecto.

Se ha optado por puntuar del 1 al 10 cada criterio en cada alternativa, y el coeficiente de ponderación decidido para cada criterio es el que se puede observar en las tablas que aparecen a continuación:

Criterios	Ponderación	Puntuación
Precio	20%	10
Gestión de la información	20%	4
Beneficios económicos	30%	2
Beneficios de proceso	30%	2
TOTAL	100%	4

Tabla 2: Ponderación de la alternativa 1

Criterios	Ponderación	Puntuación
Precio	20%	6
Gestión de la información	20%	8
Beneficios económicos	30%	7
Beneficios de proceso	30%	8
TOTAL	100%	7,3

Tabla 3: Ponderación de la alternativa 2

A continuación, se explicarán brevemente las razones por las que se ha optado por elegir los valores de ponderación y las puntuaciones en cada criterio.

En primer lugar, el precio de realizar el proyecto no supone ni un gran coste para la empresa (tal y como se verá en los siguientes apartados), ni un gran obstáculo para realizar el proyecto por lo que se ha optado por unas puntuaciones conservadoras.

En cuanto a la gestión de la información se refiere, actualmente no se dispone de un sistema con el que se realice dicha tarea de forma óptima, y de realizarse el proyecto mejoraría bastante la situación, aunque, por otra parte, tampoco se considera como un objetivo esencial del proyecto.

Uno de los grandes objetivos del proyecto es obtener mejoras que producirán beneficios económicos, por lo tanto, este criterio se ha ponderado con mayor peso que el resto, dando una puntuación notablemente mayor a la alternativa 2, ya que con la alternativa 1 sería difícil obtener mejoras.

En cuanto a los beneficios del proceso se refiere, este criterio contará con un peso como el de los beneficios económicos, ya que el proceso mejorará al estar identificados los puntos de mejora, desviaciones por fallos... Este criterio será también de una gran importancia.

Una vez expuestas las dos soluciones, se toma la decisión de apostar por la alternativa 2, es decir, la alternativa externa para realizar el proyecto.

5.2 Monitorización del proceso

Actualmente se hace un análisis semanal de los datos del laminador LC2 y se calculan los índices operacionales entre los que se encuentran la productividad, producción, utilización...

Hay varias fuentes de datos con las cuales se calculan los indicadores e índices operacionales del laminador LC2. El sistema para medir los datos registra, por una parte, la totalidad de bobinas laminadas en cada relevo y, por otra parte, la totalidad de paradas que existen en cada relevo.

Teniendo en cuenta que la suma diaria del tiempo de laminación y el tiempo de parada son 24 horas, se pueden calcular las horas útiles en las que el laminador está funcionando. Las horas útiles son iguales a la totalidad de horas en un día (24 horas) menos las horas totales de parada.

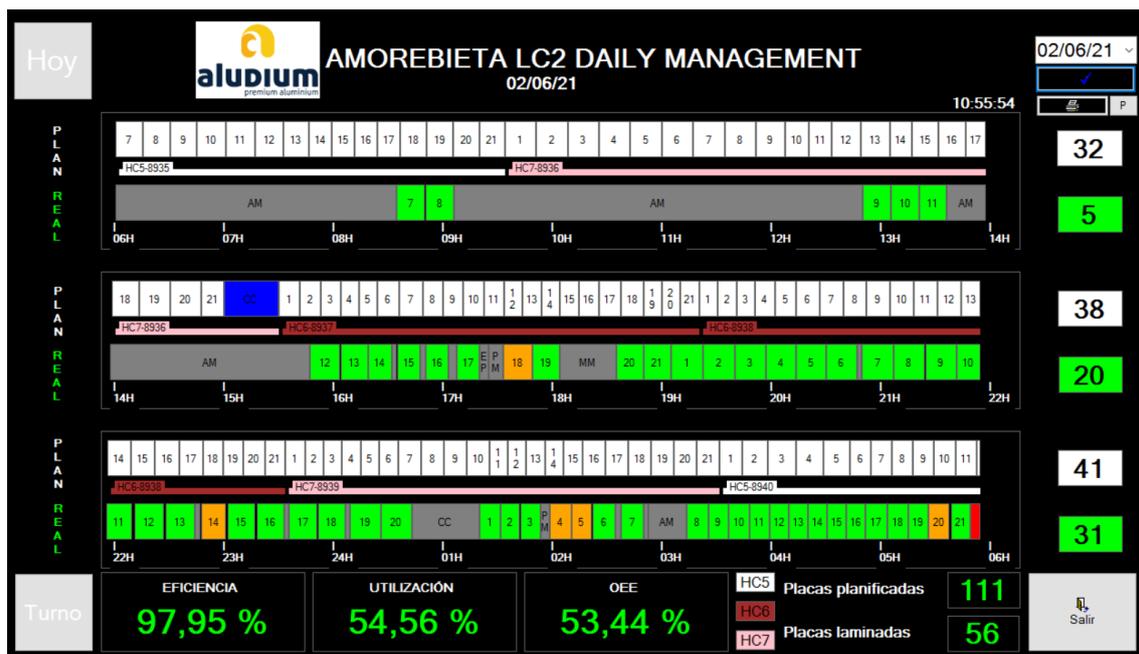


Figura 12: Información de la producción diaria del LC2 dividida por relevos

Una vez tenemos las horas útiles hay que calcular las toneladas de metal producidas. Este cálculo se realiza apuntando el peso con el que ha salido cada bobina del laminador. A la salida existe una báscula que nos indica el peso que tiene la bobina en ese momento.

Obtenidos los datos de los pesos de las bobina y horas útiles, el cálculo de la productividad se hace dividiendo el peso (toneladas) entre las horas (horas útiles). La productividad se calcula haciendo la media de los 7 días de la semana con los datos

obtenidos diariamente. Lo mismo ocurre con la producción, pero en este caso hay que sumar el metal producido cada día. Por otra parte, se calcula también el porcentaje de utilización y las principales causas de parada de la máquina, pero de estos aspectos se encarga el departamento de mantenimiento. Por lo tanto, no se entrará más en detalle.

Este método que se usa actualmente carece de cierta precisión. Ya que los datos están sacados de una forma que engloba todo el día, no se puede valorar con exactitud el tiempo perdido entre bobinas o el tiempo perdido entre las propias pasadas de cada bobina. Para poder analizar las desviaciones que ocurren en cada caso es necesaria otra herramienta mucho más potente con la que poder sacar conclusiones tras el análisis de los datos.

Es precisamente por esto último, por lo que se ha decidido realizar el proyecto para poder explotar la información del laminador que, pese a que está disponible, no se le puede sacar el rendimiento necesario.

5.2.1 Uso de la herramienta IBA

El IBA es un sistema usado para el registro y análisis de datos de los procesos. El laminador LC2 está controlado mediante unos ordenadores para automatizar el proceso. Esos ordenadores a su vez reciben las señales emitidas por el laminador y el IBA se encarga de almacenarlas para su uso posterior. Cada bobina laminada queda registrada con prácticamente todos los parámetros medidos durante el proceso de laminación.

Gracias a este sistema se puede localizar dónde ha fallado la máquina o dónde ha habido un error de cualquier otro tipo durante la laminación, introducción de placa, evacuación de bobina... Teniendo en cuenta que todas las bobinas laminadas quedan registradas, esta herramienta es muy importante para el análisis concreto de cada caso.

Siempre que se produce algún tipo de avería, incidente de laminación, fallo de secuencia... es recomendable analizar el porqué de ese problema usando el IBA (Figura 13). Esta herramienta es de gran uso sobre todo para analizar las secuencias que se producen en cada pasada como pueden ser el cierre de las reglas para centrar la banda, la entrada de la bobinadora de salida, la colocación de los cilindros de trabajo con la luz adecuada para dar la pasada correspondiente...

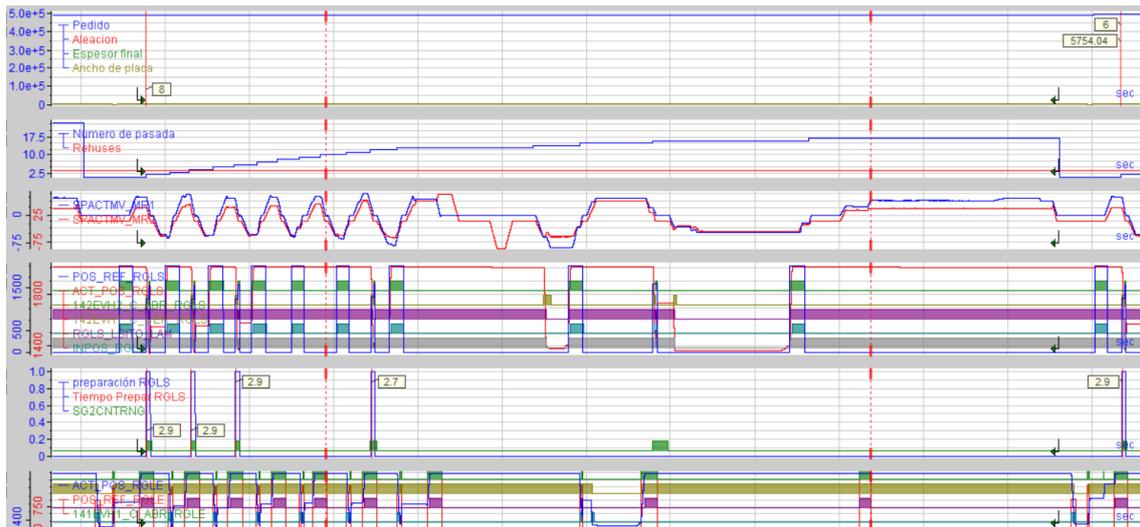


Figura 13: Variables medidas mediante el sistema IBA

Todos estos factores van a ser importantes a la hora de aumentar la capacidad del laminador LC2, pero hay que destacar que el IBA proporciona la información de manera separada por cada bobina. A simple vista se podría ir analizando uno por uno cada caso e ir comparándolo con procesos similares para ver si ha habido alguna desviación. Está claro que esta tarea es muy complicada y no supondría atacar el problema por el lado correcto. Si se consigue la monitorización de la información obtenida del IBA se logrará afrontar el problema de una manera adecuada.

6. Metodología

Una vez obtenida la herramienta con la que se llevará a cabo el proyecto se explicará cómo se llevará a cabo el análisis de todos los datos obtenidos mediante el IBA del laminador LC2.

6.1 Análisis del BCT

En primer lugar, se realizará un análisis de los tiempos entre bobina (BCT). Para ello hay que tener en cuenta los diferentes tipos de proceso que existen actualmente en la fábrica de Amorebieta. Dependiendo de la aleación de aluminio, las placas entrantes son laminadas a 1, 2, 3 o 4 bobinados por diferentes motivos como pueden ser la anchura, longitud y características metalúrgicas del metal. El número de bobinados afecta directamente al tiempo entre bobinas, ya que como se explicará a continuación, los procesos que tienen más de un bobinado serán más rápidos que los procesos en los que solo existe un bobinado.

Teniendo en cuenta esta característica del proceso se va a analizar las secuencias que se deben cumplir desde el final de una bobina hasta el inicio de la laminación de la siguiente placa:

Evacuación de bobina	Tiempo (segundos)
Subir el carro	5
Retirar el mandrino	5
Sacar el carro hacia fuera	23
Posicionar el mandrino	3
Subir la capota	10
Subir el deflector	5
TIEMPO TOTAL (camino crítico):	33

Tabla 4: Tiempo de las secuencias para la evacuación de la bobina

Para cada secuencia se explicará el objetivo y su funcionamiento:

- *Subir el carro:* a la salida del laminador existe un carro mediante el que se evacuará la bobina del laminador. La bobina se apoyará en el carro cuando esté lista para salir y éste la transportará hasta unos railes que se encargarán de depositarla en el almacén horizontal de la planta. Desde que el carro está posicionado debajo de la bobina, recibe la orden de subir y contacta con la bobina pasan 5 segundos.
- *Retirar el mandrino:* cuando la placa introducida está lo suficientemente laminada se enrolla alrededor del mandrino para conseguir una bobina. Una vez la totalidad de la bobina ha sido laminada y está preparada para ser evacuada del laminador, el mandrino se contrae dejando apoyada la bobina en el carro de evacuación.

- *Sacar el carro hacia fuera:* es la secuencia que ocurre desde que la bobina está posicionada en el carro hasta que el carro se traslada junto a la bobina y vuelve a su posición. Por temas de seguridad, no se puede transportar la bobina a una velocidad elevada. Además, el peso de la bobina es elevado y no facilitaría ese movimiento.
- *Posicionar el mandrino:* cuando el mandrino se contrae para que la bobina se quede apoyada en el carro, tarda unos 3 segundos en volver a su posición original para laminar la siguiente bobina.
- *Subir la capota:* la capota es el elemento que asegura que la bobina está siendo enrollada de una forma correcta en el mandrino. Para ello, se introduce por la parte trasera del mandrino y acompaña a la banda de aluminio que viene laminada redirigiéndola a que se enrolle en el mandrino con la ayuda de las correas. Una vez se han enrollado correctamente las primeras espiras de la bobina, la capota retira su posición inicial y coloca un rodillo en la parte superior de la bobina que se encargará de medir su posición y dimensiones en todo momento. Cuando la bobina es evacuada toda la capota se retirará a su posición inicial, dejando el hueco necesario para la laminación de la siguiente placa.
- *Subir el deflector:* el rodillo deflector se encargará de asegurarse que la banda continua su paso correctamente cuando sale del laminador y actúa como una especie de tope garantizando que la banda no salga hacia arriba provocando accidentes en la laminación. Además, el rodillo deflector se encarga de realizar las mediciones del perfil de la banda para asegurarse de que su planeidad es la correcta.

Introducción de la siguiente placa	Tiempo (segundos)
Descenso del semipórtico	5
Traslación de placa	15
Cierre de reglas	5
Validación del ancho de la placa	4
Pasada marcha 1	2
Piro entrada	5
TIEMPO TOTAL (camino crítico):	42

Tabla 5: Tiempo de las secuencias para la introducción de la siguiente placa

- *Descenso del semipórtico:* el semipórtico es el elemento que se encarga de trasladar las placas desde los hornos de recalentamiento al laminador. Desde que se da la orden de introducir una nueva placa al laminador hasta que el semipórtico la posiciona en los rodillos de la entrada transcurren 5 segundos. Esta secuencia depende de dónde se encuentra el metal en el laminador. Si el metal se encuentra a laminándose de entrada a salida a lo largo del mismo, se

tardará más en activar el inicio de la secuencia, ya que no hay espacio físico para depositar la siguiente placa puesto que hay metal laminándose. Por el contrario, si la banda se está bobinando a la entrada (procesos de más de 1 bobinado) sí que hay espacio para que el semipórtico deposite la siguiente placa en los rodillos del laminador ya que no habría metal a lo largo del laminador.

- *Translación de placa:* una vez el semipórtico deja la placa posicionada desde el horno, esta tiene que avanzar gracias a los rodillos motorizados y situarse delante de la caja de laminador para su posterior medición de ancho y ser introducida a los cilindros de trabajo.
- *Cierre de reglas:* cuando la placa llega al frente del laminador, las reglas laterales se cerrarán y dejarán la placa centrada respecto al eje del laminador. Dependiendo del ancho de la placa este tiempo fluctuará en mayor o menor medida, ya que, para anchos inferiores, el tiempo de cierre será superior que para los anchos superiores.
- *Validación del ancho de la placa:* una vez la placa está situada en su posición correcta, es necesario medir el ancho de la placa para poder empezar con la laminación. Una vez medido el ancho, el sistema enviará la medida realizada al ordenador modelo encargado de controlar el laminador. Una vez recibido el ancho, se comprobará que coincide con los datos del modelo y de ser así se verificará que la placa a laminar en cuestión va a ser la que está prevista en el modelo.
- *Pasada en marcha 1:* se trata del tiempo que transcurre entre que se valida el ancho, se envían los datos al modelo y el modelo da la orden de que se realice la primera pasada para laminar la placa.
- *Piro entrada:* tanto a la entrada como a la salida existen dos pirómetros que detectan si el metal está tanto entrando como saliendo de la caja de los cilindros de trabajo. Una vez El pirómetro de entrada detecta metal, es que se ha comenzado a laminar la siguiente placa.

Secuencias independientes	Tiempo (segundos)
Preparación del apriete mecánico	22
Translación de la mesa de la cizalla de bordes	20
Rodillos frenados	4
TIEMPO TOTAL (camino crítico):	30

Tabla 6: Ttiempo de las secuencias para preparar la siguiente pasada

- *Preparación del apriete mecánico:* el apriete mecánico sirve para regular la posición de los cilindros de trabajo sobre la línea cero de laminación. Los cilindros ajustan su luz [ref] dependiendo del espesor de la pasada siguiente que tienen que dar. Al finalizar la última pasada, los cilindros se encuentran a una distancia muy cercana entre sí, ya que la última pasada se lamina a un espesor muy fino alrededor de 6 y 10 mm. Para la laminación de la siguiente placa, los cilindros de trabajo tienen que ajustar su posición dependiendo del espesor de la placa entrante (normalmente entre 560 y 575 mm). Esta secuencia se realiza en paralelo a las de evacuación de bobina y entrada de la siguiente placa.
- *Traslación de la mesa de la cizalla de bordes:* cuando el proceso lo requiere (casi siempre) en la última pasada se cortan los bordes de la banda de aluminio simétricamente. Se realiza el corte de bordes para reducir el ancho de la placa al ancho de salida deseado y evitar así el pequeño aumento de ancho sufrido en la laminación. La cizalla de bordes está situada en una mesa a parte fuera del laminador. El proceso es sencillo, una vez esté activada la orden de laminar la última pasada, la mesa de los primeros rodillos situados a la salida del laminador se desplazará por un carril dejando hueco a que la mesa de la cizalla de bordes ocupe su lugar. Una vez finalizado el proceso de corte de bordes, la mesa de la cizalla se retirará a su posición dejando sitio para la mesa de rodillos motorizados.
- *Rodillos frenados:* durante la última pasada los rodillos motorizados se activan para dirigir la banda hacia los rodillos de trabajo. Al finalizar la pasada y para que el resto de secuencias puedan comenzar sin incidencias, es necesario que todos los rodillos del laminador frenen su movimiento.

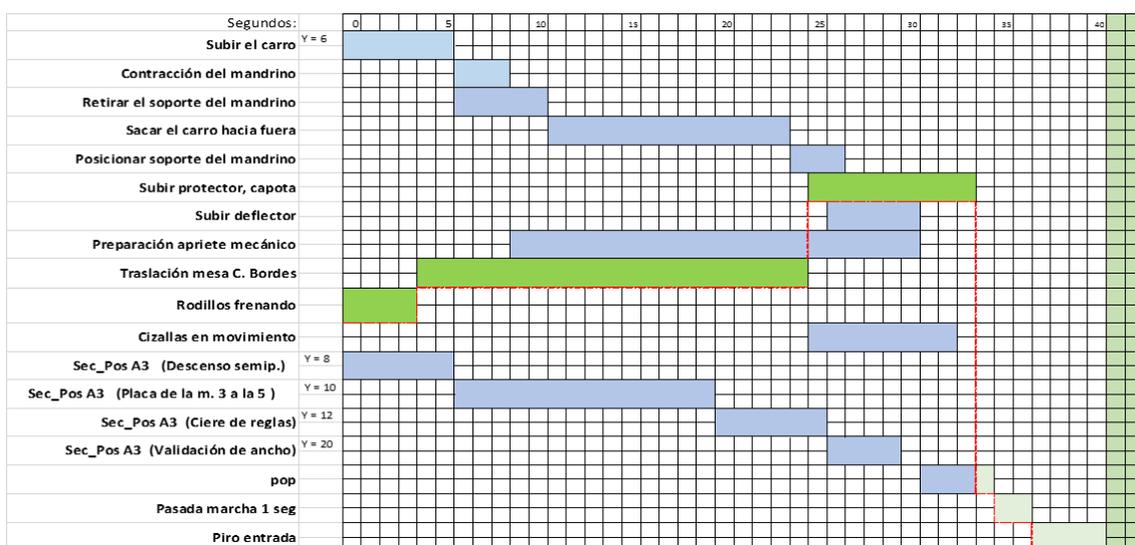


Figura 14: Secuencias para la evacuación de bobinas y entrada de nuevas placas

En el siguiente diagrama se observan tanto las secuencias de la evacuación de la bobina en la salida como las secuencias necesarias que se deben producir para la entrada de la siguiente placa al laminador. Se puede observar que varias secuencias se pueden realizar en paralelo para agilizar el proceso y ganar un tiempo que pese a parecer pequeño en algún caso, supondría una gran ganancia a lo largo del año. Si se observa el camino crítico se puede deducir cuál es el tiempo óptimo para el funcionamiento correcto del proceso.

Como se ha mencionado anteriormente, en los procesos en los que se lamina a un solo bobinado, el semipórtico en la entrada no puede avanzar con la siguiente placa hasta la posición óptima para iniciar la laminación hasta que el metal que se lamina actualmente (en la última pasada la banda se lamina desde entrada hacia salida) pase en su totalidad a la salida del laminador y deje espacio para ello.

Por estos motivos se analizará de una forma separada dichos procesos, subdividiendo el análisis en procesos de 1 bobinado y procesos de más de 1 bobinado. Dentro del análisis del BCT, se obtendrán diariamente los valores de cada bobina por separado y se localizarán las bobinas que sufren desviaciones respecto al objetivo analizando posteriormente el principal motivo de dicha desviación. Se identificará en qué parte del proceso se encuentra la desviación mirando las señales de todas las secuencias y el tiempo transcurrido para cada una de ellas y se compararán con los valores marcados como objetivo. Se realizará el mismo método para cada campaña que se lamine en el LC2 clasificando por ancho, aleación, número de bobinados, número de pasadas... De una manera que sea clara para identificar si las desviaciones son posibles fallos puntuales, errores en el proceso o averías en la máquina.

6.2 Análisis del BPT

En cuanto al análisis del tiempo entre pasadas, cabe destacar que los procesos de laminación en caliente tienen una media de pasadas que varía entre las 17 y las 23 pasadas. Por lo tanto, es más complicado analizar todos los procesos de una forma global. Para llevar a cabo dicho análisis, será necesario centrarse por procesos que compartan aleación, espesor final y número de bobinados. De esta forma se conseguirá agrupar de una manera más efectiva todos los procesos y analizar los diferentes bloques que hay. También será necesario definir el tipo de pasada. Como ejemplos, existen las pasadas iniciales, en las que la placa todavía tiene un gran espesor y poca longitud, pasadas finales cuando la banda está a un espesor final (en las que se corta bordes), pasadas de corte en la cizalla pesada, pasadas en las que se realiza el bobinado de la banda...

Cabe destacar que para cada pasada que se efectúa en el laminador, el programa medirá tanto en tiempo de contacto en los cilindros como el tiempo de preparación hasta empezar la siguiente pasada. El tiempo de contacto dependerá principalmente de la velocidad a la que se lamina la banda entre los cilindros de trabajo. En este caso, es un proceso que viene definido teóricamente así que no se entrará en detalle sobre cómo intentar reducirlo. Por el contrario, el tiempo de preparación para la siguiente pasada sí que depende de varias secuencias que se deben cumplir para que la siguiente pasada se pueda llevar a cabo. Básicamente las secuencias que se tienen que llevar a cabo son el

posicionamiento de las reglas tanto de entrada como de salida (se encargan del centrado de la banda respecto al eje del laminador), el posicionamiento de los cilindros de trabajo ajustándose para obtener el espesor requerido en la salida de cada pasada y la activación de los rodillos motorizados que se encargan de trasladar la banda por el laminador.

El posicionamiento de reglas comenzará cuando el laminador detecte que hay metal en su camino. Unos láseres detectarán que el metal está avanzando por el laminador y enviarán una señal para el cierre de las reglas. Una vez las reglas centren la banda, se retirarán a su posición inicial habiendo tomado una medida del ancho de la misma, que será enviada a la unidad de control del laminador.

En cuanto al posicionamiento de cilindros, éste puede realizarse gracias al apriete mecánico o bien gracias al apriete hidráulico. El sistema de control tiene modelizado un esquema de cada pasada y ajusta los parámetros de la máquina dependiendo de los valores que le envía el modelo. En cada pasada los cilindros ajustarán su posición gracias a los gatos (mecánicos o hidráulicos). Dado que el espesor de la banda disminuye en cada pasada, los cilindros disminuirán la luz y tardarán un tiempo en posicionarse correctamente. Al hilo del posicionamiento de los cilindros de trabajo, puede ocurrir que bien por una mala lubricación de la banda, o bien por un mal posicionamiento de los cilindros, la banda choque contra ellos en vez de ser laminada. Este fenómeno se denomina como rehúse y afecta negativamente a la productividad, ya que produce paradas y aumento del tiempo necesario para laminar la misma cantidad de material.

La activación de los rodillos se realizará una vez la banda esté correctamente centrada y quieta. Únicamente se activarán los rodillos que sean necesarios para transportar la banda de vuelta para ser laminada por los cilindros de trabajo. Este paso suele estar perfectamente monitorizado y no hay un gran margen de mejora en este aspecto.

Una vez definidos los principales parámetros que afectan al BPT, se va a explicar en cuáles de ellos se realizará un mayor análisis para identificar oportunidades de mejora. En primer lugar, se analizará en centrado de la banda se realiza de una manera óptima o si por el contrario el cierre de las reglas no se produce en su debido momento o posición. A continuación, se identificarán los tiempos necesarios del posicionamiento de los cilindros de trabajo y si es posible comenzar antes con la secuencia indicada. Finalmente se analizará el parámetro de los rehúses producidos en cada bobina por aleación para intentar disminuir su número y aumentar la productividad en mayor medida.

Para ello, se identificarán grupos de bobinas de características similares y se agruparán todos los valores de dichos parámetros en una base de datos. Una vez agrupados los datos se identificarán unos valores objetivo en base a los resultados de los datos obtenidos anteriormente. Posteriormente, se analizarán todos aquellos valores que se desvíen de los objetivos, empezando por las desviaciones más notorias. Una vez completado el análisis de cada tipo de proceso se intentarán identificar puntos de mejora en base a las conclusiones obtenidas gracias al análisis.

Al identificar oportunidades de mejora, habría que ver como influirían las modificaciones realizadas en el resto de los procesos.

Por ejemplo: en su día se decidió modificar la estrategia de despunte en el proceso para laminar bobinas de aleación 5754 a 9 mm. La estrategia consistía en despuntar tanto la cola como la punta en la cizalla pesada en la misma pasada, haciendo avanzar la banda solamente activando los rodillos correspondientes hasta que llegase a su posición. Hubo una gran ganancia de tiempos y aumento de productividad, y se decidió implementar la misma estrategia al resto de procesos similares.

El problema fue que, al ganar tiempo, el material salía más caliente del laminador, ya que no se enfriaba tanto por convección, y al reducir su espesor tenía problemas de pandeo en algunas aleaciones más blandas que hacía que se produjesen marcas al rozar con los rodillos de trabajo. Esto supuso un gran problema de calidad para la planta hasta que se detectó la causa raíz.

Como conclusión, las mejoras en algunos apartados de distintos procesos puede que no sean extrapolables al resto de los mismos.

6.3 Análisis del recovery

Otro indicador importante es el recovery. Si comparamos el peso a la salida con el peso que se obtiene a la entrada, mientras se valida la placa para poder laminarla, se obtendría la diferencia denominada como recovery. La pérdida de peso se produce en los cortes de la cizalla pesada (despunte) y la cizalla de bordes (corte de bordes) en la última pasada.

Donde sí hay una oportunidad de mejora del indicador del recovery es en la reducción de bobinas que van directas a chatarra o bobinas no conformes que posteriormente deben ser saneadas. Laminar esas bobinas supone tiempo empleado en el laminador, y si finalmente esa bobina va a recorte, los kilos producidos de metal en ese tiempo son 0. Lo mismo ocurre cuando hay bobinas o conformes que o bien hay que reprocesar o bien sanear aguas abajo del proceso. Estas bobinas afectan duramente a los indicadores tanto del recovery y en consecuencia a la productividad del laminador.

Para garantizar la calidad de las bobinas del laminador se sigue un plan de acción para cada producto, definido por el departamento de calidad de la empresa. Estas acciones incluyen paradas operacionales como cambio de cilindros antes de laminar productos críticos, enfriamiento de cilindros para corregir el perfil... también desde el departamento de mantenimiento se realizan tanto acciones preventivas como correctivas para garantizar que la máquina esté en perfectas condiciones de laminar. Estas acciones incluyen el lijado de los rodillos del laminador para evitar que se generen pegados de material que produzcan daños al laminar, el chequeo rutinario de los cilindros de trabajo, estado de las boquillas de riego para garantizar tanto una lubricación como una refrigeración adecuada...

Para analizar cómo mejorar el recovery se volverán a agrupar las bobinas laminadas por proceso y por estrategia de despunte, es decir, bobinas que tengan los mismos cortes tanto en la cizalla pesada como en la cizalla de bordes.

7. Resultados

A continuación, se realizará un resumen sobre los resultados más llamativos obtenidos en el análisis de los datos procedentes del laminador LC2. Hay que mencionar que para el caso del BCT y BPT se han ido recopilando datos durante 1 mes de trabajo para poder englobar de una manera más amplia el conjunto de procesos y hacer un análisis que tenga en cuenta una mayor cantidad de datos. En el caso de recovery, como es un indicador que se ha medido con fiabilidad durante mucho tiempo, se han analizado los resultados con los datos ya existentes.

7.1 Resultados del análisis de los datos de BCT

En primer lugar, se analizarán los resultados obtenidos en cuanto al BCT. Como se ha explicado anteriormente, se ha analizado el proceso dividiéndolo en varias partes. Por una parte, se han analizado los resultados de los procesos que se laminan a 1 bobinado, así como las aleaciones de 1085, 1050, 8011, 8079... y, por otra parte, los procesos que se laminan a más de un bobinado como 5005, 5754, 3003, 3005...

Para facilitar el análisis, se han elegido entre los procesos de 1 bobinado los de aleación 1085 y entre los procesos de más de 1 bobinado los de aleación 3005. En ambos casos son procesos habituales en la fábrica y cuentan con un gran número de bobinas laminadas.

En el siguiente gráfico se muestra la evolución del BCT de cada tipo de proceso en el periodo de tiempo que se han medido los datos:

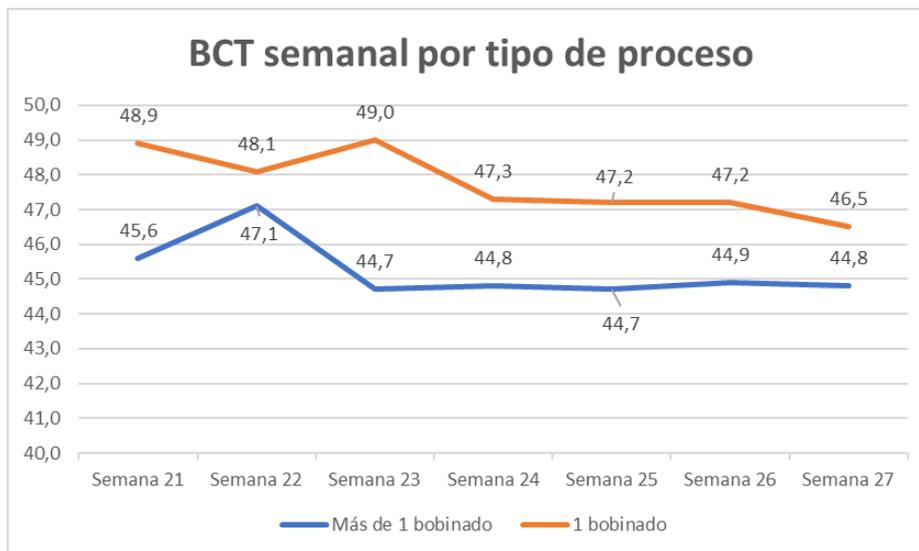


Figura 15: Tiempo de BCT para los procesos de 1 bobinado y 'más de 1 bobinado

Tal y como se esperaba los procesos de aleación 3005 tienen un menor tiempo de BCT, ya que la secuencia del semipórtico es aproximadamente 2 segundos más lenta que en el caso de las aleaciones de 1085.

A continuación, se mostrará una campana de Gauss que ayuda a identificar cuántas bobinas se han desviado sobre el tiempo que se considera el teórico en ambos tipos de proceso:

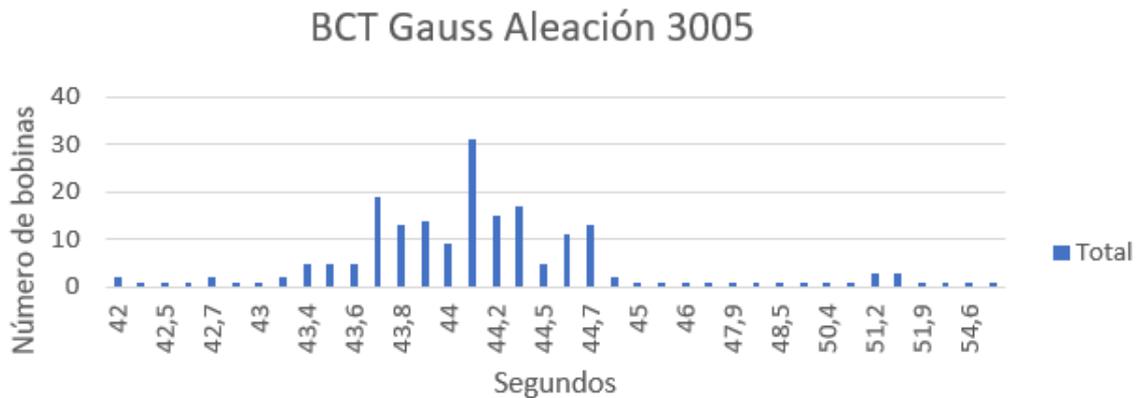


Figura 16: Campana de Gauss para procesos de aleación 3005

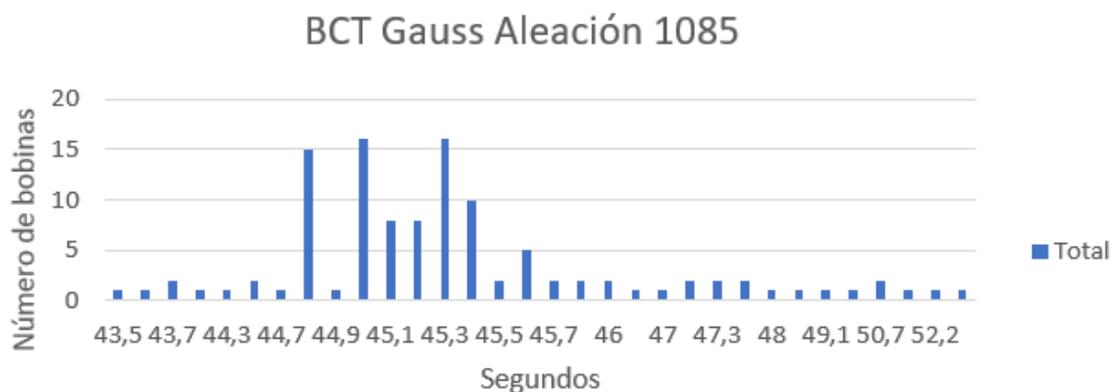


Figura 17: Campana de Gauss para procesos de aleación 1085

Como se puede comprobar existen desviaciones sobre el tiempo considerado como objetivo. El siguiente paso ha sido analizar (junto con el equipo de mantenimiento eléctrico) el porqué de esas desviaciones y se han sacado las siguientes conclusiones:

- El sistema de detección instalado en el carro de evacuación de la bobina no detecta de una manera precisa cuando la bobina está completamente evacuada del laminador. Hay un láser situado por defecto a la salida, y las bobinas que son más anchas que 1400mm tardan 2 segundos más en ser detectadas de que se encuentran fuera del laminador, cuando realmente este hecho no es una condición que marque ciclo para continuar con las secuencias posteriores.
- Problemas en la validación del ancho de las placas a la entrada. Cuando las placas vienen del semipórtico, se depositan a la entrada del laminador y es ahí cuando gracias a las reglas de entrada, se mide su ancho antes de laminar para comprobar de que se trata de la misma placa que aparece en el sistema. Hay en

casos de que, dependiendo del ancho de la placa, las reglas no cierran lo suficiente o cierran demasiado, provocando que el operario tenga que realizar la medición del ancho activando la secuencia manualmente. De producirse este fenómeno, supondría una pérdida de tiempo adicional.

Para corregir estas desviaciones se ha realizado el siguiente plan de acción junto con el departamento de mantenimiento eléctrico:

Causa de desviación	Impacto	Acciones a realizar
Falta de precisión para detectar cuando la bobina está completamente fuera del laminador.	2" en el 20% de bobinas tanto de 1085 como 3005 de salida.	Ajustar el sistema de detección de evacuación de las bobinas en el carro de salida.
Error en la validación del ancho de las placas a la entrada	5" en el 15% de bobinas de 3005	Ajustar las condiciones del cierre de reglas en rangos de ancho más precisos

Tabla 7: Plan de acción para el BCT

7.2 Resultados del análisis de los datos de BPT

Analizando los datos del BPT se han detectado las siguientes desviaciones:

- El cierre de las reglas de salida se produce unos segundos más tarde de que se detenga la banda por completo. En casos de aleaciones concretas existe dicho retraso ya que anteriormente se producían pegados de aluminio al cerrarse las reglas cuando la banda todavía estaba en movimiento. Esto ocurría cuando se laminaban placas anchas y el cierre de reglas era más rápido y de menos recorrido.
- Los rodillos motorizados tardan varios segundos más en activarse después de que se haga la validación de ancho de la placa. Lo ideal es que una vez que se compruebe el ancho medido por las reglas, los rodillos se activen simultáneamente para iniciar la siguiente pasada y disminuir el tiempo de preparación.

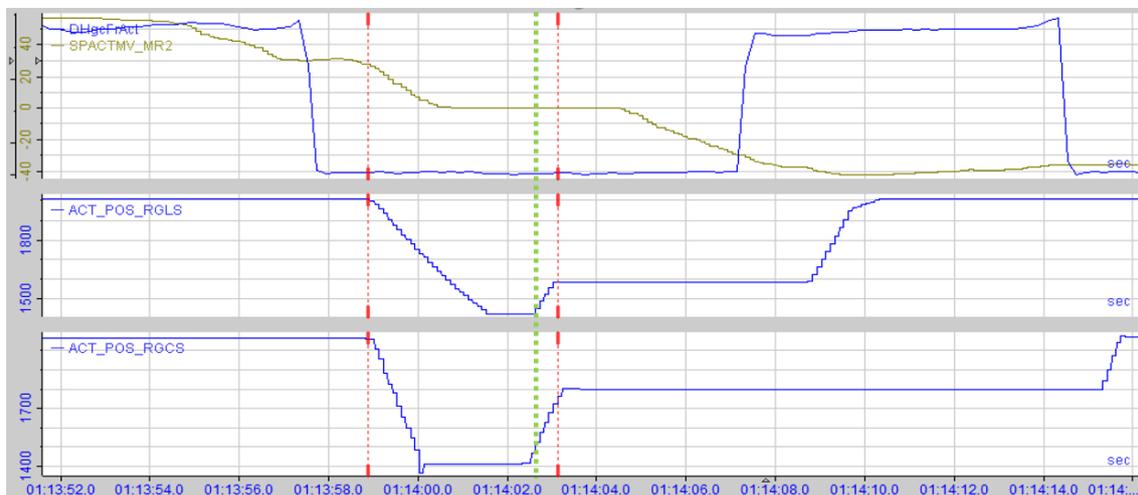


Figura 18: Cierre de las reglas de salida en pasadas impares

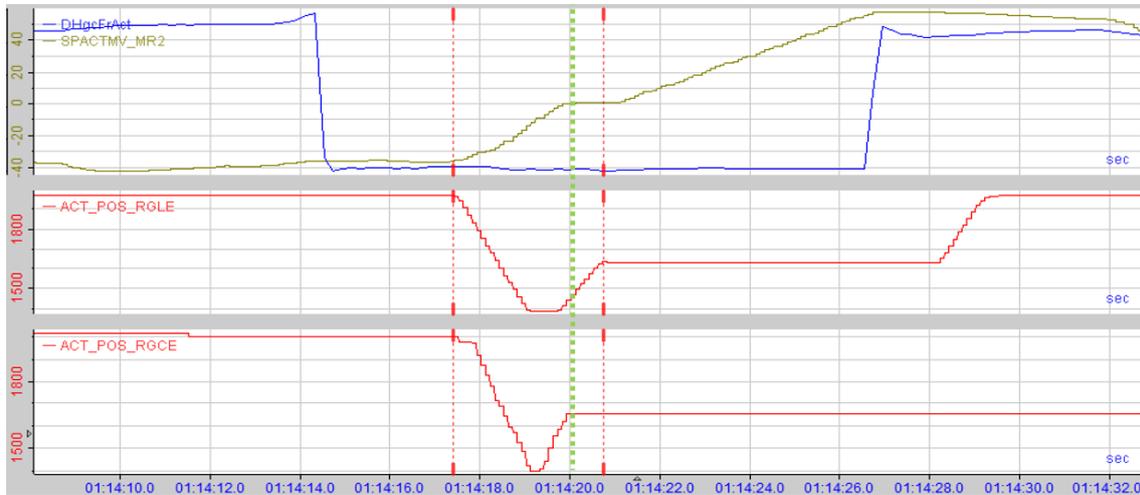


Figura 19: Cierre de las reglas de entrada en pasadas pares

En las siguientes capturas se puede comprobar cómo el cierre de reglas de la entrada está unos segundos a destiempo de lo ideal porque las reglas cortas y las largas no cierran al mismo tiempo y no se puede validar el ancho hasta que todas estén en su posición. En comparación con las reglas de salida, se puede observar cómo sería el funcionamiento correcto y óptimo en cuanto al proceso.

Para corregir dichas desviaciones, se ha realizado el siguiente plan de acción además de calcular los beneficios que supondría optimizar la máquina realizando las modificaciones anteriormente mencionadas:

Causas principales	Impacto	Acciones a realizar
Cierre de reglas de entrada no está sincronizado	0,4 seg/pasada	Sincronizar el cierre de las reglas de entrada (reglas cortas y largas) para cada proceso y aleación.
Activación de rodillos motorizados va con retraso	0,5 seg/pasada	Configurar los tiempos necesarios para empezar la activación de los rodillos una vez se haya producido el cierre de las reglas.

Tabla 8: Plan de acción para el BPT

Acción	Segundos/bobina	Toneladas/día	Toneladas/mes	Toneladas/año	Bobinas/año	Euros/año
Sincronización de reglas cortas y reglas largas de entrada	4	2	60	720	90	720.000
Activar los rodillos sincronizados con el cierre de reglas	2	1	30	360	45	360.000
Total	6	6	195	2235	249	1.080.000

Tabla 9: Impacto económico y cuantitativo de las mejoras realizadas

De conseguir realizar las modificaciones de una forma correcta y sin sufrir otras desviaciones en consecuencia de su realización, los beneficios obtenidos serían los que aparecen en la tabla 6. Cabe destacar que las mejoras en el BPT, por muy pequeñas que parezcan, suponen un gran beneficio global, ya que por cada bobina hay muchas pasadas (entre 19 y 23 normalmente) y una pequeña ganancia se multiplicaría por cada una de las pasadas en cada bobina.

7.3 Resultados del análisis de los datos de recovery

En cuanto a los resultados del recovery, hay que indicar que en abril del 2021 uno de los laminadores en frío de Alicante sufrió un incendio por el cual dejó de estar operativo. Toda la carga de trabajo de dicho laminador tiene que ser absorbida por los dos laminadores en frío de la planta de Amorebieta para que el proceso sea equivalente. Dado la carga de trabajo ya existente en Amorebieta, es difícil ajustar un volumen de trabajo sin provocar colapsos en el proceso de Amorebieta. Para ello la decisión adoptada ha sido la de dar pasadas adicionales en el laminador en caliente LC2 para así reducir las pasadas que se tienen que dar en laminación en frío, donde lo habitual suele ser laminar cada bobina entre 2 y 4 veces.

Reduciendo el espesor en laminación en caliente, se consigue agilizar el flujo de trabajo de los laminadores en frío, pero en consecuencia se ha producido un aumento de problemas con la calidad de ciertas bobinas. El laminador en caliente es una máquina preparada para laminar placas a espesores entre 8-10 mm y en algunos procesos que se reduce el espesor de salida a 4-6 mm las bobinas pueden tener defectos de calidad o simplemente ir a recorte.

Estos defectos afectan directamente al indicador del recovery en el LC2, ya que suponen una pérdida de peso adicional. En el gráfico que se muestra a continuación se puede observar la evolución del recovery en estos últimos años:

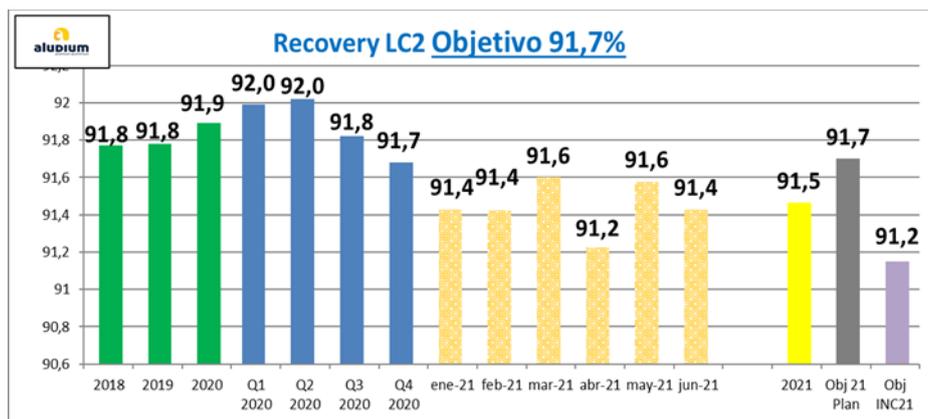


Figura 20: Evolución del recovery del LC2 en los últimos años

Si bien la bajada de espesores del LC2 ha perjudicado al indicador del recovery, éste no es el único motivo. Debido a los nuevos procesos implantados en la planta de Amorebieta con el fin de reducir espesores, las placas provenientes de la fundición tienen que fresarse con otro proceso que requiere pasadas adicionales en la fresadora. Como la fresadora pertenece al área de laminación en caliente, el indicador del recovery sufrirá una pérdida ya que, al fresar más, la cantidad de material perdida en el proceso será mayor.

Para mejorar el indicador del recovery se han propuesto el siguiente plan de acción:

Causas principales	Impacto	Acciones a realizar
Fresado adicional de las placas	0,30%	<ul style="list-style-type: none"> Nuevo diseño de las placas provenientes de la fundición, ajustandolas al proceso del LC2 Reducir el número de pasadas en la fresadora
Bobinas a chatarra y bobinas no conformes	0,40%	Realización de CAR (Corrective Actions Report) para identificar los problemas y proponer soluciones para los nuevos procesos de espesores inferiores

Tabla 10: Plan de acción para el recovery

8. Tareas

Para la realización del proyecto, se han llevado a cabo las siguientes tareas:

En primer lugar, se identificó la oportunidad de realizar el proyecto para mejorar la capacidad del laminador dada la gran potencia que pueden aportar el número de señales que el sistema IBA es capaz de medir y que anteriormente no se hacía uso de ello. Una vez definida la idea, se comenzó a preparar el proyecto planificando sus fases.

Lo primero de todo es realizar un análisis en el que se comparen las alternativas existentes y en función a los resultados de ese análisis tomar la decisión de abordar el proyecto o simplemente continuar con el mismo método.

Una vez valorados los resultados del análisis se tomó la decisión de realizar el proyecto. Para ello ha sido necesario valorar las diferentes opciones que se presentaban para llevar a cabo el proyecto. Por una parte, se valoró la idea de aportar el hardware necesario vía empresas externas y por la otra, aportarlo vía interna desde el departamento de informática de la empresa.

Se contactó con la empresa Ingenet para realizar el proyecto. Esta empresa propuso dos diferentes trabajos a realizar: medición de las señales del laminador LC2 y exportación de los datos medidos a bases de datos (Excel).

Una vez planteados los requerimientos tanto de Aludium como de Ingenet, se llevó a cabo la fase de instalación de los sistemas necesarios para la medición de señales. Debido a problemas de incompatibilidad de las licencias IBA con los ordenadores actualmente existentes para el control del laminador, fue necesario aportar un ordenador a parte con su licencia IBA. Esa licencia iba a disponer de las características mínimas para las necesidades actuales. De ser necesario ampliar su capacidad de medición de señales, es posible comprar extensiones que facilitarían dicha tarea.

Ya realizado toda la instalación, se comenzó con la puesta en marcha de la captación de las señales y exportación de los datos a bases de Excel. En primer lugar, se realizaron pruebas in situ para comprobar que las mediciones de las variables requeridas estaban siendo las correctas. Una vez que las mediciones realizadas se ajustaban a los valores medidos in situ, se procedió a la recopilación de datos de diferentes procesos para llevar a cabo el análisis posterior.

Cabe destacar que los datos recopilados en esta primera fase solamente sirven para hacer una primera valoración de las principales desviaciones y oportunidades de mejora. La tarea de recopilar los datos se realizará de manera continua para seguir identificando nuevos problemas en el proceso o nuevas mejoras que puedan implementarse en el futuro.

A continuación, se procedió al análisis de los datos obtenidos para obtener resultados y poder sacar conclusiones de las principales desviaciones que ocurrían. Estos resultados fueron analizados en grupos dependiendo de las variables tenidas en cuenta y los

resultados se clasificaron tal y como se había previsto. En base a los resultados obtenidos, se propusieron realizar mejoras para intentar optimizar el proceso.

Una vez analizados los resultados y propuestas las mejoras, se procedió a evaluar el impacto económico que supondrían las mejoras y cómo afectarían a la empresa de mantenerse a lo largo de un periodo de tiempo.

Para terminar, se procedió a la redacción del proyecto, situándolo en un contexto general en el mercado el aluminio y en uno particular como el de la empresa Aludium. También se realizó la valoración final en forma de conclusiones más destacadas.

9. Diagrama de Gantt

A continuación, se enumerarán las tareas realizadas con sus fechas previstas y se mostrará el diagrama de Gantt correspondiente al proyecto:

Nombre de la tarea	Fecha inicio	Fecha fin	Duración
Análisis de alternativas	03/22/2021	04/02/2021	2 semanas
Elección de la alternativa	04/02/2021	04/09/2021	1 semana
Elección de proveedores	04/12/2021	04/19/2021	1 semana
Realización de pedidos	04/19/2021	04/25/2021	1 semana
Instalación del nuevo sistema de medición	04/26/2021	05/02/2021	1 semana
Puesta en marcha del sistema	05/03/2021	05/17/2021	2 semanas
Recopilación de datos	05/17/2021	07/30/2021	11 semanas
Análisis de resultados	07/05/2021	07/30/2021	4 semanas
Redacción del documento	05/10/2021	07/30/2021	12 semanas

Tabla 11: Listado de tareas del proyecto

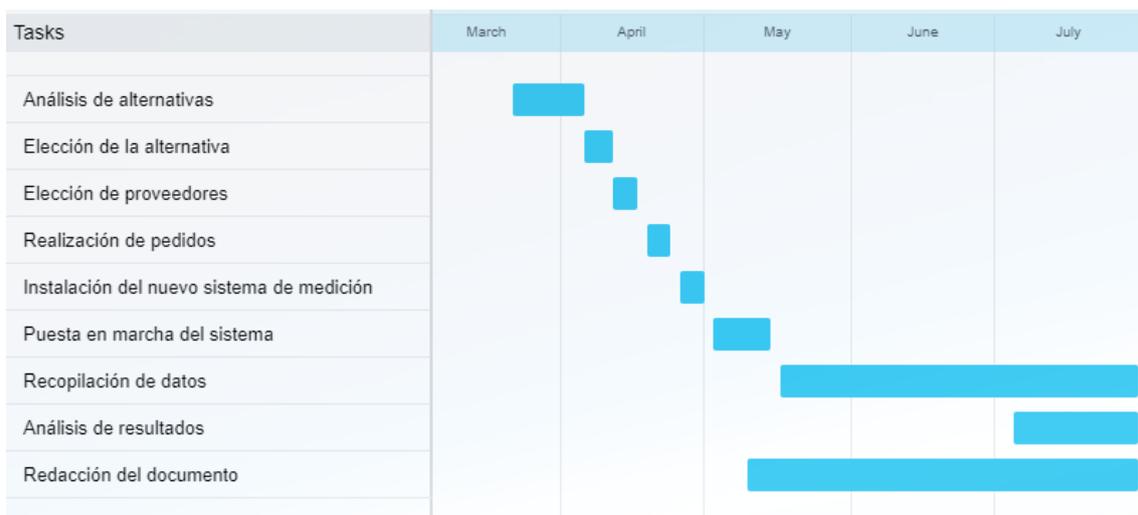


Figura 21: Diagrama de Gantt

10. Descargo de gastos

En este apartado se explicará el coste que ha supuesto realizar el proyecto en su totalidad. Primero se muestra la tabla que contiene los salarios de los trabajadores que han formado parte del proyecto:

Personal	Cantidad	Coste por hora (€/h)	Horas (h)	Coste (€)
Ingeniero junior	1	30	150	4.500
Ingeniero superior	1	50	40	2.000
Técnicos de mantenimiento	1	40	30	1.200
Oficial eléctrico	1	40	50	2.000

Tabla 12: Gastos de personal del proyecto

A continuación, las amortizaciones de los productos y licencias de software utilizados para llevar a cabo el proyecto:

Material amortizable	Coste inicial (€)	Vida útil (h)	Uso durante el proyecto (h)	Amortización (€)
PC Toshiba Satellite L750	640	6.000	100	10,67
Licencia Microsoft Office	188,99	6.000	50	1,57
Licencia IBA Analyzer	1.547	8.760	1.320	232,97

Tabla 13: Tabla de material amortizable

En la siguiente tabla se muestran los gastos realizados para realizar el proyecto:

Gastos de material fungible	Coste (€)
Captación de señales del laminador LC2	2.135 €
Exportación de las señales a bases de datos Excel	1.868 €

Tabla 14: Tabla de gastos de material fungible

Por último, se muestra un resumen del presupuesto en su totalidad. Se ha tenido en cuenta un incremento del 5% adicional para posibles imprevistos.

Personal	9.700
Inversiones	245,21
Gastos de material fungible	4.003
SUB TOTAL	13.948,21
Imprevistos (%5)	697,41

TOTAL	14.645,62
--------------	-----------

Tabla 15: Tabla global del descargo de gastos

11. Conclusión

Para finalizar el documento se citarán las conclusiones obtenidas al realizar el proyecto.

Como conclusión principal hay que destacar el margen de mejora que existe en el laminador LC2. Esta máquina lleva más de 30 años funcionando y aún así, todavía existen oportunidades de mejora para aumentar su rendimiento. Si bien algunos componentes de la máquina no van a ir a más por culpa del deterioro lógico del paso de los años, existen otras vías de mejora del laminador y es un proceso continuo para adaptarse a los nuevos procesos que supondrán los nuevos pedidos que se le encarguen a la empresa.

Básicamente, el modo de funcionamiento es adaptarse a las necesidades actuales que exige el mercado y preparar al laminador LC2 para ser capaz de abastecer dichas necesidades.

Ya que la demanda del aluminio no es constante para todo tipo de pedidos, puede ser que alguna de las modificaciones que se realizan en el laminador no se mantengan en el tiempo y se opte por adaptarse a otro método de trabajo ya sea por razones de calidad o de seguridad. En este caso, la mayoría de las modificaciones realizadas no suponen problema para el resto de los procesos ya que son modificaciones generalizadas válidas para cada uno de los procesos en su totalidad.

Hay que destacar el impacto económico que suponen las mejoras realizadas, y con el paso del tiempo se verán reflejadas de manera más notoria ya que por cada bobina de los procesos modificados que se realice, se obtendrán beneficios que se acumularán en el tiempo.

Por otra parte, hay que aclarar que las mejoras en cada aspecto no suponen el mismo aumento de rendimiento a la fábrica. Como ejemplo, no es lo mismo ganar un gran tiempo al BPT de bobinas con poca cantidad de pedidos, que ganar poco tiempo a un proceso con una gran demanda en el cual a la larga el beneficio sería notablemente mayor. En el caso de este proyecto, se han centrado los esfuerzos en varias aleaciones con gran volumen de trabajo, por lo tanto, dicho fenómeno no debería de ocurrir.

Para finalizar, hoy en día y gracias al IBA se puede sacar gran información de las máquinas de laminación en general, y el poder entender dicha información para ser capaces de optimizar el proceso es de gran utilidad. El poder explotar toda la información que aporta un laminador con tantas señales como es el LC2 es una característica básica dentro de la mejora continua que debe perseguir un ingeniero de procesos responsable de cualquier tipo de máquina industrial.

Por lo tanto, la realización de proyectos que fomenten dichas prácticas siempre va a ser positivo para el desarrollo de los diferentes procesos industriales.

12. Bibliografía

- [1] "Proceso Bayer" Química.es. 2021. *Proceso_Bayer*
<https://www.quimica.es/enciclopedia/Proceso_Bayer.html>.
- [2] "Aleaciones de aluminio" <https://es.materials4me.com/conocimiento-ideas/guia-de-materiales/aleaciones-de-aluminio-y-estados-de-suministro/>
- [3] "Toneladas producidas de aluminio en 2020"
<https://es.statista.com/estadisticas/635357/paises-lideres-en-la-produccion-de-aluminio-a-nivel-mundial/>
- [4] "Ranking de países productores de aluminio"
<https://es.statista.com/estadisticas/635357/paises-lideres-en-la-produccion-de-aluminio-a-nivel-mundial/>
- [5] "Evolución de la producción de aluminio con el paso de los años"
<http://www.cofundi.com/breve-historia-del-aluminio/>
- [6] "Producción de aluminio en España"
<https://es.statista.com/estadisticas/822214/produccion-de-aluminio-en-espana/>
- [7] "Edificio con fachada de aluminio" <https://alumedistemas.com/hablando-de-aluminio-en-la-construccion/>
- [8] "Aplicación de aluminio en la automoción"
<https://www.recambiooriginal.com/blog/recambios-originales/carroceria/por-que-se-usa-aluminio-en-carroceria-coches/>