



# Trabajo Fin de Grado

Análisis y propuesta de mejoras para la productividad mediante herramientas Lean-Manufacturing en líneas de corte transversal para núcleos de transformadores en seco

Analysis and proposals for productivity improvements through Lean-Manufacturing tools in cutting lines for Dry-Transformers core lamination

Autor

David Celestino Colás Romanos

Director

Jorge Ayllon Lapre

PONENTE

Juan José Aguilar Marín





DECLARACIÓN DE  
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./Dª. DAVID CELESTINO COLÁS ROMANOS,

con nº de DNI 73411147-T en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales, (Título del Trabajo) Ánalysis y propuesta de mejoras para la productividad mediante herramientas Lean-Manufacturing en líneas de corte transversal para núcleos de transformadores en seco.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_,  
es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 18 de Abril de 2018

Fdo: David Celestino Colás Romanos



*Análisis y propuesta de mejoras para la productividad mediante herramientas Lean-Manufacturing en líneas de corte transversal para núcleos de transformadores en seco*

Resumen

El presente Trabajo Fin de Grado “*Análisis y propuesta de mejoras para la productividad mediante herramientas Lean-Manufacturing en líneas de corte transversal para núcleos de transformadores en seco*” se encuentra enmarcado en la necesidad de mejorar un proceso de producción como es el corte de chapa transversal, el cual trabajaba con unos múltiples de eficiencia muy por debajo de los ideales. Este proyecto se ha llevado a cabo con el departamento de producción y mantenimiento en ABB-Zaragoza con la ayuda de Jorge Ayllon, actual director de producción, además de la supervisión del Dr. Juan José Aguilar Martín dentro del Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.

Hoy en día en la industria y más en concreto en la manufactura eléctrica, la alta competitividad está a la orden del día reflejándose así en la reducción de costes para seguir siendo líderes del mercado. Estas turbulencias nos han llevado a adquirir una filosofía Lean intentando así maximizar nuestra productividad. Esta alta competencia no solo externa sino también interna dentro de la empresa con políticas de externalización de la producción a países con mano de obra más barata, nos sitúa en la obligación de aumentar el ritmo de producción con los mismo recursos y a la vez manteniendo los estándares de calidad.

Desde el departamento de producción de ABB-Zaragoza, se plantea inicialmente como proyecto la implantación del OEE en la línea de corte transversal pero en vista de los datos recopilados se decidió apostar por una continua mejora diferenciando claramente dos áreas de mejora, involucrando por un lado al departamento de mantenimiento con una mejora estrictamente mecánica del proceso y por otro lado, al departamento de producción con una mejora para el control de la producción.

En base al estudio cuantitativo y cualitativo de los datos obtenidos en la línea de corte *Georg*, las propuestas de mejoras llevadas a cabo son las siguientes: Sistema de guiado para el direccionado de la chapa y un Sistema de visualización de datos en tiempo real (OEE).

En referencia al control de la evolución de este proyecto fundamentado en la mejora de la productividad, hemos tomado como sistema propio de referencia el indicador OEE. El objetivo inicial definido para este proyecto es alcanzar un OEE del 65%, entrando así en los estándares de excelencia para este tipo de proceso (mecanizado).

El alcance de este proyecto está inicialmente enfocado solo para la línea de corte *Georg*, pero a largo plazo podría implantarse en todos los procesos presentes en ABB-Zaragoza.



# Índice General

Índice de figuras .....	V
Índice de tablas .....	VI
Índice de gráficos .....	VII
<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. La empresa .....	1
1.1.1. Transformadores de tipo seco de MT .....	2
1.1.2. Corte transversal para núcleos .....	5
1.2. Problemática planteada .....	6
1.3. Objetivos .....	6
1.4. Tareas realizadas .....	7
1.5. Contenido de la memoria .....	8
<b>2. Marco teórico y colección de datos .....</b>	<b>9</b>
2.1. Lean Manufacturing .....	9
2.2. Total Productive Maintenance (TPM) .....	9
2.3. Overall Equipment Effectiveness (OEE) .....	11
2.4. Recopilación y tratamiento de datos.....	13
<b>3. Punto de partida .....</b>	<b>15</b>
3.1. Calculo del OEE inicial .....	15
3.2. Flujos de pérdidas y tipos .....	16
3.2.1. Perdidas mecánicas .....	18
3.2.2. Perdidas en la productividad .....	20
<b>4. Análisis de pérdidas .....</b>	<b>22</b>
4.1. Análisis de pérdidas mecánicas .....	22
4.2. Análisis de pérdidas en la productividad .....	25
4.3. Proposición de mejoras .....	25
<b>5. Sistema de guiado .....</b>	<b>26</b>
5.1. Causa de fallo .....	26
5.2. Descripción del sistema de guiado .....	28
5.3. Viabilidad de la inversión .....	29
<b>6. Visualización de datos en tiempo real (OEE) .....</b>	<b>30</b>
6.1. Online OEE Measurement System .....	30
6.2. Dispositivos para los operarios .....	31
6.3. Dispositivos para la oficina .....	32
6.4. Aplicación Móvil - Visualización .....	32
6.5. Razones de uso .....	33
6.6. Viabilidad de la inversión .....	33
<b>7. Aplicación y problemática encontradas .....</b>	<b>34</b>
7.1. En toma de datos .....	34
7.2. En el sistema de guiado .....	35
7.3. En la implantación de Online OEE Measurement System .....	35

<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>36</b>
8.1.    Sobre el Trabajo Fin de Grado .....	36
8.2.    Futuras líneas de trabajo .....	36
<b>Bibliografía .....</b>	<b>38</b>
<b>Anexo A. Descripción Base de Datos Georg .....</b>	<b>39</b>
Anexo A.1.    Mensajes en la línea de corte: MachMsg .....	39
Anexo A.2.    Producción de la línea de corte: MachProd .....	40
Anexo A.3.    Estados de la línea de corte: MachStat .....	41
<b>Anexo B. Informe diario de producción .....</b>	<b>44</b>
<b>Anexo C. Análisis de Octubre .....</b>	<b>45</b>
<b>Anexo D. Análisis de Noviembre .....</b>	<b>48</b>
<b>Anexo E. Curvas de rendimiento .....</b>	<b>51</b>
Anexo E.1.    Curva de rendimiento teórica .....	51
Anexo E.2.    Curva de rendimiento real al 100% de la capacidad .....	51
Anexo E.3.    Curva de rendimiento real .....	52
<b>Anexo F. Explicación física del fallo mecánico .....</b>	<b>53</b>
<b>Anexo G. Datos utilizados para la trazabilidad del OEE .....</b>	<b>55</b>

# Índice de figuras

Figura 1. Divisiones ABB .....	1
Figura 2. Trasformadores secos encapsulados .....	2
Figura 3. Transformador de tipo seco encapsulado al vacío .....	3
Figura 4. El núcleo magnético .....	4
Figura 5. Fase de ensamblaje .....	4
Figura 6. Estructura del núcleo .....	5
Figura 7. Niveles del núcleo magnético .....	5
Figura 8. Grupaje del núcleo .....	5
Figura 9. La clasificación de los pilares del TPM y su orden de preferencias .....	10
Figura 10. Esquema del OEE. ....	12
Figura 11. Six Big Losses .....	12
Figura 12. Chronic and sporadic disturbances .....	14
Figura 13. Prioridades de actuación .....	17
Figura 14. Prototipo Sistema de Guiado .....	26
Figura 15. Zona de Colocación de Guiado .....	28
Figura 16. Sistema de guiado .....	28
Figura 17. Eje Acople Motor .....	28
Figura 18. Visualización de datos .....	31
Figura 19. Entorno interactivo .....	31
Figura 20. Data capturing and real time visualization .....	31
Figura 21. Office tools .....	32
Figura 22. Aplicación móvil .....	32
Figura 23. Chapa marcada por el Sistema de guiado .....	35
Figura 24. Shearing unit & Run out conveyor .....	53
Figura 25. Esquema de Fuerzas – Entrada Cinta Transportadora .....	54
Figura 26. Proceso de Apilado .....	54
Figura 27. Installation layouts .....	55
Figura 28. Estados de la línea de corte .....	55
Figura 29. Mensajes de error en la línea de corte .....	55

## Índice de tablas

Tabla 1. Objetivos .....	6
Tabla 2. Características de las pérdidas .....	13
Tabla 3. OEE mensual en 2017 .....	15
Tabla 4. OEE medio en 2017 .....	15
Tabla 5. Márgenes de mejora en el apilado .....	19
Tabla 6. OEE medio Original .....	19
Tabla 7. OEE medio tras mejora mecánica .....	19
Tabla 8. Impacto económico de las pérdidas mecánicas .....	20
Tabla 9. Margen de mejora por aumento de la productividad .....	20
Tabla 10. OEE medio Original .....	21
Tabla 11. OEE tras mejora productiva .....	21
Tabla 12. Impacto económico de las pérdidas ocultas .....	21
Tabla 13. ROI del Sistema de guiado .....	29
Tabla 14. ROI de OEE Measurement System .....	33
Tabla 15. Conjunto de bases de datos Georg .....	39
Tabla 16. Base de datos: Mensajes en la línea de corte .....	39
Tabla 17. Base de datos: Producción de la línea de corte .....	40
Tabla 18. Base de datos: Estados de la línea de corte .....	41
Tabla 19. Informe diario de producción .....	44
Tabla 20. Base de datos para la trazabilidad del tipo de chapa .....	44
Tabla 21. OEE y distribución de fallos – Octubre .....	45
Tabla 22. OEE y distribución de fallos - Noviembre .....	48

## Índice de gráficos

Gráfico 1. Diagrama Pareto-Perdidas Octubre / Noviembre .....	16
Gráfico 2. Fit Curve - Linear Model Poly22 .....	22
Gráfico 3. Velocidad de Corte Vs. Longitud de chapa .....	23
Gráfico 4. Velocidad de Corte Vs. Ancho de Chapa .....	23
Gráfico 5. Benchmarking Curva de Rendimientos .....	24
Gráfico 6. Fallos por Chapa Cortada Vs. Velocidad de Corte .....	26
Gráfico 7. Distribución de Perdidas .....	27
Gráfico 8. OEE Diario Octubre .....	46
Gráfico 9. Distribución de pérdidas Octubre .....	46
Gráfica 10. Diagrama Pareto Octubre .....	47
Gráfica 11. OEE Diario Noviembre .....	49
Gráfica 12. Distribución de pérdidas Noviembre .....	49
Gráfico 13. Diagrama Pareto Noviembre .....	50
Gráfica 14. Curva de trabajo teórica .....	51
Gráfica 15. Curva de trabajo real al 100% de la capacidad .....	51
Gráfico 16. Curva de trabajo real .....	52



## 1.-Introducción

El presente Trabajo Fin de Grado “*Análisis y propuesta de mejoras para la productividad mediante herramientas Lean-Manufacturing en líneas de corte transversal para núcleos de transformadores en seco*” es el resultado del trabajo realizado dentro de la empresa de generación de energía eléctrica y automatización industrial ABB, para la división de Trasformadores en Zaragoza.

### 1.1.- La empresa

ABB es líder tecnológico pionero en productos de electrificación, robótica, automatización industrial y redes eléctricas. Ayudamos a nuestros clientes en compañías de servicios básicos, industria, transporte e infraestructuras, escribiendo el futuro de la digitalización en la industria y la cuarta revolución industrial.

ABB es el resultado de la fusión empresarial, en 1988, de la empresa Sueca ASEA y Brown Boveri fundada en Zúrich en 1981 donde actualmente se encuentra su sede central. ABB-Zaragoza, donde se enmarca este proyecto, fue originalmente la fábrica de transformadores DIESTRE que más tarde en el año 1993 fue adquirida por el grupo ABB.

Las operaciones de ABB están organizadas en cuatro divisiones globales, que a su vez se componen de unidades de negocio dedicadas a industrias específicas y a categorías de productos.



Figura 1. Divisiones ABB

ABB-Zaragoza pertenece a la división de *Power Grids*, la cual se encarga de proveer productos, sistemas y servicios para dar soluciones en el campo de la energía y automatización. Así mismo, dentro de esta división, podemos encontrar un amplio portafolio de unidades de negocio: Redes de comunicación, Software empresarial, soluciones de microredes... hasta llegar a nuestra unidad de negocio, que es Transformadores. ABB Transformadores ofrece una gama completa de transformadores de potencia y distribución, pero nuestra fábrica de Zaragoza está centrada en transformadores de tipo seco encapsulados de media y alta tensión, con un especial hincapié en media tensión.

### 1.1.1.- Transformadores de tipo seco de media tensión

#### *¿Qué es un transformador de media tensión?*

Los transformadores de media tensión (MV), son dispositivos eléctricos estáticos que transfieren energía por acoplamiento inductivo entre sus circuito de devanados. Una corriente variable en el devanado en el devanado primario crea un flujo magnético variable en el núcleo del transformador y, por lo tanto, un flujo magnético variable a través del devanado secundario. Este flujo magnético variable induce una fuerza electromotriz (f.e.m) variable o voltaje en el devanado secundario. Los transformadores se pueden usar para variar la tensión relativa de los circuitos o aislarlos, o ambos.

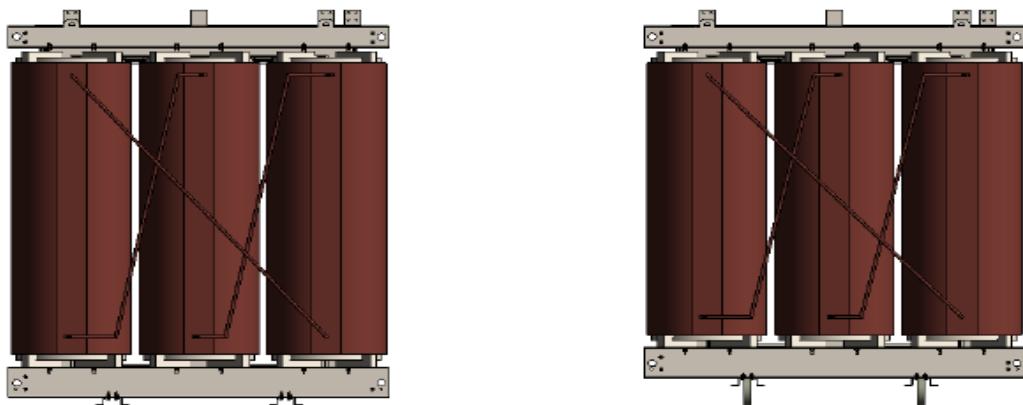


Figura 2. Trasformadores secos encapsulados

#### *¿Qué es un transformador en seco?*

Un transformador en seco es aquel que no precisa de ningún líquido para refrigerarse de forma natural. Existen varios tipos de producto/tecnología según sea la fabricación del arrollamiento de media tensión:

- I. Abiertos: VPI o VPE (Open Wound)
- II. Encapsulados al vacío: VCC (Vacuum Cast Coil)
- III. Encapsulados con mezcla de fibra de vidrio: Resibloc

#### *¿Ventajas de un transformador encapsulado?*

En ABB-Zaragoza nos encargamos exclusivamente de la fabricación de transformadores encapsulados al vacío.

Las bobinas son encapsuladas bajo vacío con resina epoxi reforzado con malla de fibra de vidrio bajo el más riguroso control de calidad para asegurar un aislamiento óptimo y unas características mecánicas de alta calidad. Este transformador tiene un bajo nivel de descargas parciales, gracias al novedoso proceso de llenado en vacío, donde la resina es introducida en moldes, posteriormente en una cámara de vacío donde los componentes

se moldean como una sola sección garantizando la inmersión total del aislamiento en la resina epoxi y evitando burbujas en el encapsulado.

El diseño de ABB consiste en el más avanzado diseño tecnológico para trabajar bajo condiciones extremas. ABB ha diseñado y fabricado unos transformadores suficientemente flexibles para su óptima utilización del espacio y cumplimiento de requerimiento especiales, siendo así los más económicos además de ser seguros y respetuosos con el medio ambiente.

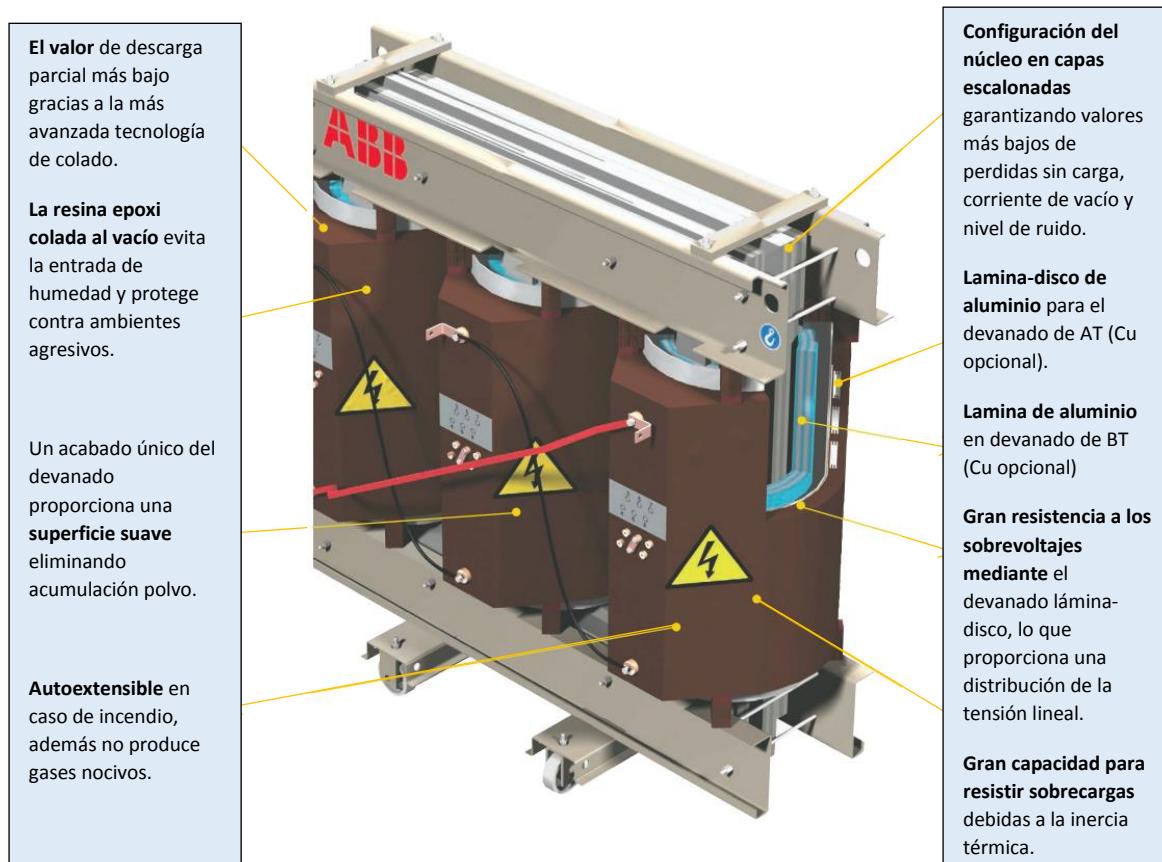


Figura 3. Transformador de tipo seco encapsulado al vacío

## Proceso de Producción

1.-El inicio de este proceso de fabricación comienza con el núcleo magnético donde se realizan las uniones con capas escalonadas para garantizar un rendimiento óptimo y unos niveles de ruido óptimo. El acero magnético se corta a lo largo, de forma secuencial se

escalona automáticamente, garantizando la precisión dimensional y el entrelazado de láminas perfecto de todo escalonamiento. Esta viene a ser la parte del parte del proceso de producción donde nuestro Trabajo Fin de Grado está enfocado, más en concreto en la línea de corte transversal que tiene lugar dicho corte.



Figura 4. El núcleo magnético

2.-El devanado de alta tensión consta de un disco descendente continuo con conducto de cinta de aluminio y aislamiento de doble capa. Los devanados están colocados al vacío con resina epoxi además de realizarse las pruebas de análisis en régimen transitorio para verificar la distribución de esfuerzo eléctrico a través de los devanados confirmando la mayor resistencia del diseño.

3.-Los devanados de baja tensión están hechos de banda de aluminio y de una banda aislante previamente impregnada con resina. Después del proceso de devanado la bobina se endurece en un horno y como consecuencia se obtiene un devanado extremadamente compacto, capaz de resistir los esfuerzos dinámicos que producen un cortocircuito.

4.-El proceso de encapsulado es una operación fundamental en procedimiento de fabricación y deberá realizarse y controlarse en las condiciones más estrictas a fin de garantizar un aislamiento y características mecánicas óptimas. Por un lado, los devanados se colocan en un horno de precalentamiento y se mantienen dentro hasta que la temperatura del molde alcanza la temperatura del encapsulado.

5.-Por otro lado, la mezcla de resina se prepara en una planta de mezcla continua. Los componentes se mezclan juntos antes del proceso del encapsulado. En el paso siguiente, las bobinas precalentadas pasan a la cámara de colada al vacío en la cámara y una vez alcanzado el vacío, la resina se vierte en los moldes quedando así los componentes mezclados antes del encapsulado. De esta forma creamos una baja viscosidad de la



Figura 5. Fase de ensamblaje

mezcla de resina llenando todos los espacios del molde y permitiendo alcanzar el nivel más bajo de descargas parciales.

6.-Por último, tras finalizar el proceso de colado, las bobinas se colocan en el horno de endurecimiento a fin de que el gel resinoso se seque y endurezca obteniendo de esta forma sus propiedades finales, dejando así todo listo para el posterior ensamblaje y montaje.

### 1.1.2.-Corte transversal para núcleos

En este proceso donde tiene lugar nuestro análisis y proposición de mejoras, se fabrica la parte más importante de todo transformador, que es el núcleo magnético. Todo comienza con el desenrollado de los rollos de acero magnético previamente cortados al ancho deseado, que pueden variar de espesor dependiendo del tipo de chapa que sea: Chapa M5 (0,30 mm), Chapa Laser (0,27 mm) y Chapa especial 30H102 (0,30mm). La secuencia de corte que se sigue es de 5 pasos: 2 *leg packets*, 2 *yoke packets* y 1 *center packet*.

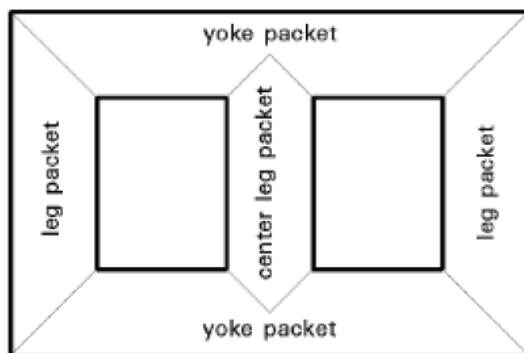


Figura 6. Estructura del núcleo

Cada uno de estas 5 secuencias de corte se apila en carro distinto en 7 niveles distintos y a su vez en grupos de 7 chapas escalonadas y entrelazadas perfectamente para garantizar un rendimiento óptimo.

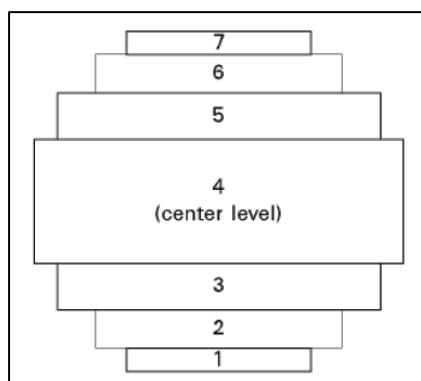


Figura 7. Niveles del núcleo magnético



Figura 8. Grupaje del núcleo

## 1.2.-Problemática planteada

Como dijo Lord Kelvin, "Si no puedes medirlo, no puedes mejorarlo"

Hoy en día nos encontramos en un entorno donde la competitividad de los mercados, la eficiencia y la eficacia nos exigen mejorar de forma continua todos nuestros procesos para ser más productivos en cualquier entorno industrial. Aquello que define el 'como' de exitosa es una empresa viene determinado por el volumen de ventas y el margen de beneficio que nos queda. Dicho esto, cualquier tipo de ineficiencia o pérdida no identificada durante el proceso de producción debe ser detectada y en consecuencia eliminada. Estas actividades llamadas básicamente perdidas pueden ser simplemente trazadas usando el indicador OEE, que nos muestra la eficacia global de la línea.

Decidimos centrarnos en la línea de corte continuo Georg porque es uno de los procesos de fabricación más automatizados dentro de nuestra fábrica, además de ser aquel con mayores problemas mecánicos y de productividad.

## 1.3.-Objetivos

Dentro de la línea de corte continuo Georg, nos encontramos con un proceso donde no existía una herramienta clara de medición que nos permitiera de forma precisa medir todos los flujos de pérdidas que tenía la línea. De manera que, nuestro objetivo principal era la medición y el análisis de datos procedente de la línea de corte para así tomar decisiones correctoras para su mejora.

En base al OEE, que ha sido nuestro sistema de referencia a lo largo de todo nuestro proyecto, tenemos como objetivo inicial alcanzar el 65% del OEE. De esta manera entraríamos en los estándares de excelencia para este tipo de proceso (mecanizado).

Objetivos	
Disponibilidad	79%
Rendimiento	82%
Calidad	100%
OEE	65%

Tabla 2. Objetivos

El alcance de este proyecto estaba inicialmente enfocado a la línea de corte Georg, pero a largo plazo, dependiendo de los resultados obtenidos podría implantarse en todos los procesos presentes en ABB-Zaragoza.

## 1.4.- Tareas realizadas

Por consiguiente, para el desarrollo de este trabajo se establece una pauta de objetivos a alcanzar en cada fase:

### Estudio de la literatura

- Estudio de todos los conceptos relacionados con Lean-Manufacturing, TPM y el indicador de la productividad OEE (citados en la bibliografía).
- Entendimiento del funcionamiento de la línea de corte continuo Georg a través de su observación y el estudio de todos los manuales disponibles.

### Colección y procesamiento de datos

- Estudio de todas las posibilidades para la recolección de datos.
- Métodos utilizados para la trazabilidad de los datos. Recopilación manual y automática de datos.

### Definición de la situación inicial

- Cálculo del OEE inicial.

### Identificación de pérdidas y análisis de datos

- Identificación de las pérdidas más importantes.
- Impacto de dichas pérdidas sobre el OEE.
- Análisis estadístico de los flujos de pérdidas.

### Estudio y desarrollo de las posibles mejoras

- División de las líneas de mejora en: mecánicas y productivas.
- Proposición, aplicación y viabilidad de un sistema de guiado para la reducción de fallos en el apilado.
- Proposición y viabilidad del sistema de visualización de datos para el control de la producción: OEE System Measurement.

### Limitaciones encontradas

- Problemas encontrados durante la realización de este proyecto

### Conclusiones

- Durante el desarrollo de las distintas fases del proyecto.
- Tras finalizar el proyecto.

## 1.5.- Contenido de la memoria

La memoria del proyecto sigue la siguiente estructura:

- En el Capítulo 1 se lleva a cabo una breve presentación de lo que hacemos en ABB-Zaragoza, profundizando en el proceso productivo sobre el cual estamos llevando la mejora continua. También vienen definidos los problemas planteados y los objetivos que queremos alcanzar.
- En el Capítulo 2 se exponen los principales conceptos teóricos nombrados a lo largo del proyecto, además de la metodología utilizada para la recopilación y tratamiento de datos.
- En el Capítulo 3 se establecen el punto de partida y se definen los principales flujos de pérdidas.
- En el Capítulo 4 se evalúan en detalle las pérdidas descritas en el capítulo anterior y se exponen las distintas líneas de mejoras.
- En el Capítulo 5 se realiza la presentación del sistema de guiado para la mejora de las pérdidas.
- En el Capítulo 6 presentaremos el sistema de visualización de datos en tiempo real (OEE) para la mejora del control de la producción y la detección precoz de posibles averías.
- En el capítulo 7 expondremos todas las limitaciones encontradas durante la realización de este Trabajo Fin de Grado.
- Finalmente, en el Capítulo 8 se agrupan las conclusiones de este proyecto y futuras líneas de trabajo.

En los anexos se presenta información adicional de la siguiente manera:

- Anexo A – Descripción Base de Datos Georg.
- Anexo B – Informe diario de producción.
- Anexo C – Análisis de Octubre.
- Anexo D – Análisis de Noviembre.
- Anexo E – Curvas de rendimiento.
- Anexo F – Explicación física del fallo mecánico
- Anexo G – Datos utilizados para la trazabilidad del OEE

## 2.-Marco teórico y tratamiento de datos

Este capítulo presenta todas las posibles referencias utilizadas durante este proyecto. Esto implica un método conocido como Total Productive Maintenance (TPM), cuyo objetivo es involucrar a los operarios en el mantenimiento preventivo de las maquinas. El principal objetivo del TPM es la eliminación de pérdidas como: el tiempo de parada, accidentes, defecto en las piezas o cualquier tipo de ineficiencia durante las horas de trabajo. Una herramienta que nos permite seguir el rendimiento del TPM, es el Overall Equipment Effectiveness (OEE), que nos ayuda a la identificación de pérdidas y a clasificarlas en tres factores que son: disponibilidad, rendimiento y calidad. Ambos términos están enmarcados en un concepto o filosofía conocida como *Lean-Manufacturing*.

### 2.1.-Lean Manufacturing

Con el objetivo de competir en los mercados globales, se están implementando nuevas técnicas organizativas y productivas como es el *Lean-Manufacturing*.

Lean, tiene sus orígenes en los sistemas de producción *Just in Time, JIT*, desarrollados en Japón, más concretamente en la empresa Toyota por los años 50. Nace como un conjunto de técnicas o herramientas que hacían factible que los materiales llegaran al sitio justo, en el momento indicado y con la ausencia de no conformidades. Dicho esto, *Lean-Manufacturing* es una filosofía que se apoya en una serie de técnicas cuya finalidad es la mejora de la productividad de la empresa, soportada por un conjunto de herramientas que:

- Ayudarán a eliminar todas las operaciones que no agreguen valor.
- Aumentará el valor de cada actividad realizada, eliminando lo que no se requiera.
- Reducirán desperdicios y mejoraran las operaciones.
- Obtendrán mejoras tangibles, medibles y significativas de la competitividad.

### 2.2.-Total Productive Maintenance (TPM)

*Preventive maintenance (PM), Productive maintenance (PM)* y otros conceptos desarrollados en los EEUU, fueron sustituidos por un concepto Japonés, conocido como Total Productive Maintenance.

El TPM, es una metodología de mejora que permite asegurar la disponibilidad y confiabilidad prevista de las operaciones, de los equipos, y del sistema, mediante la aplicación de: prevención, cero defectos, cero accidentes, y participación total de las personas. Cuando se hace referencia a la participación total, esto quiere decir que las actividades de mantenimiento preventivo tradicional, pueden efectuarse no solo por

parte del personal de mantenimiento, sino también por el personal de producción, un personal capacitado y polivalente (Nakajima, 1989).

Una explicación más detallada del *Total Productive Maintenance* sería la siguiente:

Total, que significa;

- Involucrar a todo el personal. Incrementar la preocupación de los trabajadores hacia la resolución de los problemas. Esto también implica la colaboración de la administración (Personal de dirección).
- Eliminación de accidentes, defectos y averías.

Productive

- Dificultades durante el proceso de producción son minimizadas.
- La producción de bienes y servicios debe siempre igualar o superar las expectativas de nuestros clientes.

Maintenance

- Conservación de los equipos en su forma original, para evitar su degradación. Incluyendo, sustituciones de piezas desgastadas, reparaciones, limpieza y lubricación.

Desde el instituto tecnológico, *Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM)*, se presentaron en 2008, los ocho pilares del TPM.

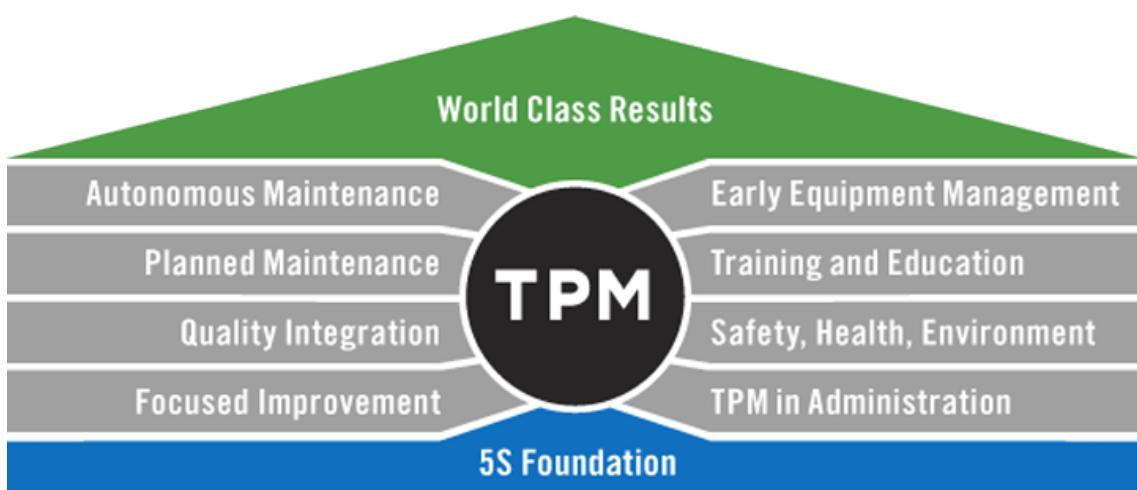


Figura 9. La clasificación de los pilares del TPM y su orden de preferencias.

## 2.3.-Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Las máquinas se diseñan desde la base de una cierta capacidad de producción. En la práctica y por diferentes motivos, la producción siempre queda muy por detrás de la capacidad para la que se diseñó.

El concepto de OEE nace como un KPI (*Key Performance Indicator*), bajo el programa de mejora estándar TPM creado por Seiichi Nakajima en 1980 y este nos proporciona una visión más clara acerca de las pérdidas que ocurren durante el proceso de fabricación.

El OEE mide la efectividad de las máquinas y líneas a través de un porcentaje, que se puede entender como la relación que existe entre el tiempo que teóricamente debería haber costado fabricar las unidades obtenidas (sin paradas, a la máxima velocidad y sin unidades defectuosas) y el tiempo que realmente ha costado.

$$OEE = \frac{\text{Valuable Operational Time}}{\text{Planned Production Time}}$$

Este indicador se puede descomponer en el producto de tres factores, relacionados a su vez, con los tres grandes grupos de pérdidas.

i. % Disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Gross Operational Time}}{\text{Planned Production Time}}$$

Perdidas por Disponibilidad. Aparecen siempre que se produce una parada de la máquina (averías, cambio de formato, falta de material, falta de personal, arranque de máquina, etc.).

ii. % Rendimiento

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Net Operational Time}}{\text{Gross Operational Time}}$$

Perdidas por Rendimiento. Cuando la máquina no ha parado, pero fabrica a un velocidad inferior a la teórica. Incluye las microparadas (paradas de muy poca duración pero muy frecuentes) y el funcionamiento degradado (reducción de velocidad por problemas de calidad, por inicio de fabricación, etc.).

iii. % Calidad

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Valuable Operational Time}}{\text{Net Operational Time}}$$

Perdidas por Calidad. Cuando fabricamos un producto no conforme, hemos consumido tiempo de la máquina y hemos incurrido en pérdidas por calidad. También ocurre cuando reprocesamos el producto defectuoso.

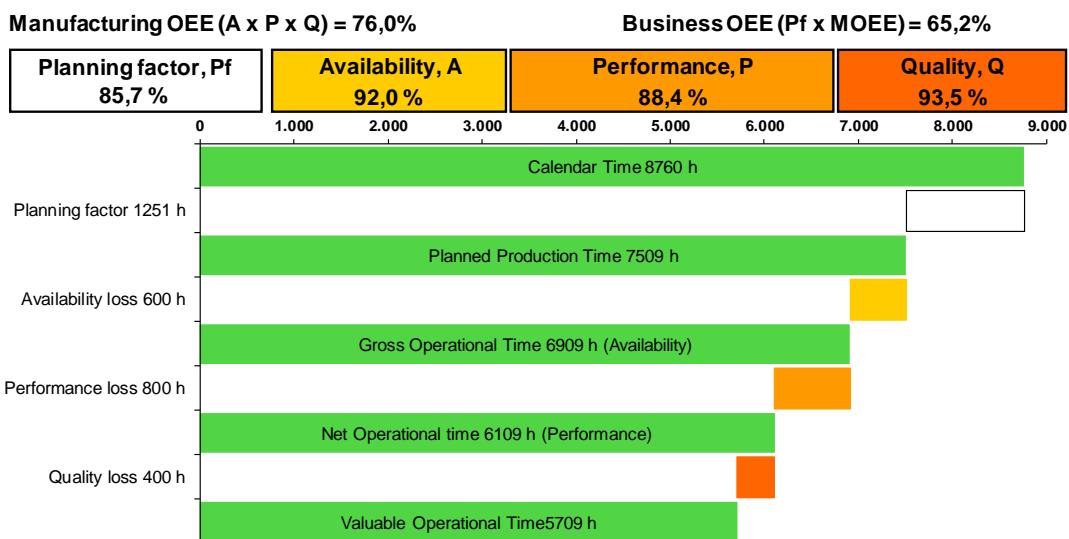


Figura 10. Esquema del OEE.

Al mismo tiempo, el OEE analiza y califica los diferentes tipos de pérdidas que pueden producirse en un proceso productivo. Esta clasificación proviene de la misma manera del TPM, en el que se definen seis grandes pérdidas: *Six Big Losses of OEE*. Estas pérdidas hacen reducir el tiempo efectivo de proceso y la producción óptima a alcanzar.



Figura 11. Six Big Losses

## 2.4.-Recopilación y Tratamiento de Datos

La recolección de datos se define como el conjunto de procedimiento y herramientas para recoger, validar y analizar la información necesaria que nos permita lograr los objetivos de nuestro plan de mejora. Los datos pueden ser registrados de forma manual o automática y en algunos casos como es el nuestro, de ambas formas. Los métodos usados en la colección de datos son los elementos claves para la correcta trazabilidad del OEE, que durante todo este proyecto es y será nuestro sistema de referencia. El indicador OEE está diseñado para identificar las pérdidas que reduzcan la eficacia de las máquinas y para eliminar aquello que no cree ningún tipo de valor. Estas pérdidas son perturbaciones que podemos diferenciar en dos tipos (*Patrik Jonsson & Magnus Lesshammar, 1999*):

- Perturbaciones crónicas
- Perturbaciones esporádicas

Entendemos como 'Perturbaciones crónicas' aquellas pérdidas que son insignificantes, ocultas y confusas, como resultado de causas concurrentes. Como resultado, estas perturbaciones hacen que se reduzca el aprovechamiento de nuestros equipos además de provocar un mayor coste de mantenimiento. Estos tipos de pérdidas son difíciles de identificar, ya que pueden ser considerados como algo inherente en el proceso de fabricación. La identificación de estas pérdidas es posible con una comparación entre el rendimiento teórico y el rendimiento real de la línea. Según las pérdidas presentadas por *Nakajima (1989)*, estas podrían diferenciarse según 'Obvious losses' y 'Hidden losses':

Losses	Obvious losses	Hidden losses
-Sporadic breakdowns	✓	
-Chronic breakdowns		✓
-Setup and adjustment	✓	✓
-Idling and minor stoppages		✓
-Speed		✓
-Sporadic quality defects	✓	
-Chronic quality defects		✓

Tabla 2.Características de las pérdidas, (Nakajima 1989)

Por otro lado, las 'pérdidas esporádicas' son fáciles de identificar ya que las divergencias que se generan son mucho más amplias. Este tipo de pérdidas ocurren de forma irregular y suelen generar serios problemas.

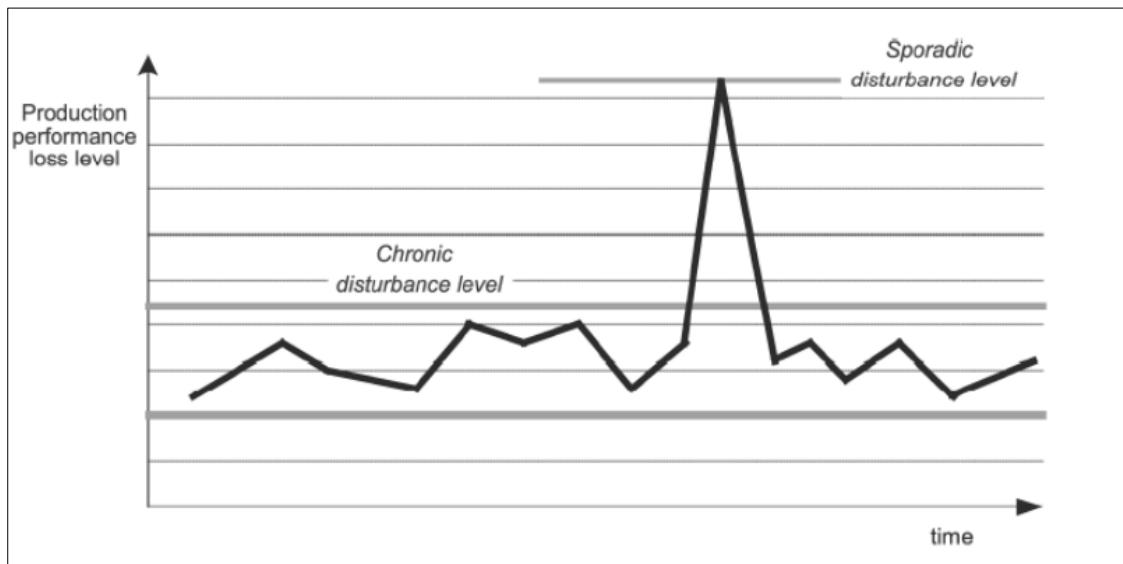


Figura 12. Chronic and sporadic disturbances

Teniendo en cuenta los tipos de pérdidas y la accesibilidad a los datos que teníamos, tomamos dos vías para la toma de datos:

-*Base de datos Georg (Colección automática de datos)*: Una base de datos implantada en el ordenador de la línea de corte que nos permite conoce una gran parte de las pérdidas presentes en la línea de corte, además de la trazabilidad del OEE. (Anexo A)

Objetivo: Trazar pérdidas evidentes y ocultas en el proceso.

-*Informe diario de producción (Colección manual de los datos)*: Con el objetivo de examinar más en detalle las 'pérdidas ocultas', decidimos crear un fichero que nos permitiera conocer los rendimientos de la línea en función del tipo de chapa magnética que se esté cortando según sus características (ancho y largo), ya que con los medios actuales no se puede trazar de forma automatizada el dimensionado que tiene la chapa magnética. A partir de este informe hemos generado otra base de datos para analizar con Matlab (Anexo B)

Objetivo: Trazar pérdidas ocultas en el proceso.

### 3.-Punto de partida

En este apartado, vamos a establecer nuestro punto de partida con el cual haremos un 'benchmarking' continuado a lo largo de todo el proceso de mejora continua. Tendremos en cuenta todos los datos recopilados tanto de la *base de datos Georg* como los *Informes diarios de producción*.

#### 3.1.-Calculo del OEE inicial

A lo largo del año 2017, hemos recuperado todos los datos de la *base de datos Georg*. El OEE a lo largo de estos meses ha sido el siguiente:

	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE
Abr-2017	56,9%	74,3%	99,9%	42,2%
May-2017	70,6%	70,4%	100,0%	49,7%
Jun-2017	71,9%	63,7%	99,9%	45,8%
Jul-2017	63,3%	62,0%	100,0%	39,2%
Ago-2017	93,5%	68,4%	100,0%	63,9%
Sep-2017	91,1%	66,4%	99,9%	60,5%
Oct-2017	67,9%	62,9%	100,0%	42,7%
Nov-2017	70,9%	71,8%	100,0%	50,9%
Dic-2017	67,8%	70,4%	100,0%	47,8%

Tabla 3. OEE Mensual en 2017

Tomando como punto de partida la media de todos los datos obtenidos anteriormente, tendríamos lo siguiente:

OEE		
PLANIFICACIÓN	Tiempo de Producción Planificado	
DISPONIBILIDAD	A Tiempo Disponible [h]	
72,63%	B Tiempo Productivo [h]	
RENDIMIENTO	C Capacidad Productiva [h]	
67,81%	D Producción Real [h]	
CALIDAD	E Producción Real	
99,99%	F Piezas Buenas	
OEE	49,25%	
49,25%		
AMORTIZACIÓN	H Calendario Laboral [h]	
81,72%	A Tiempo Disponible [h]	81,72%

Tabla 4.OEE Medio en 2017

### 3.2.-Flujos de pérdidas y tipos

Para poder profundizar en la localización de las perdidas, vamos a considerar una muestra de tiempo más reducida para así poder hacer un análisis más completo. Para la selección de las muestras, hemos elegido los meses octubre y noviembre ya que han sido meses de trabajo más continuados y con pocos días estivos.

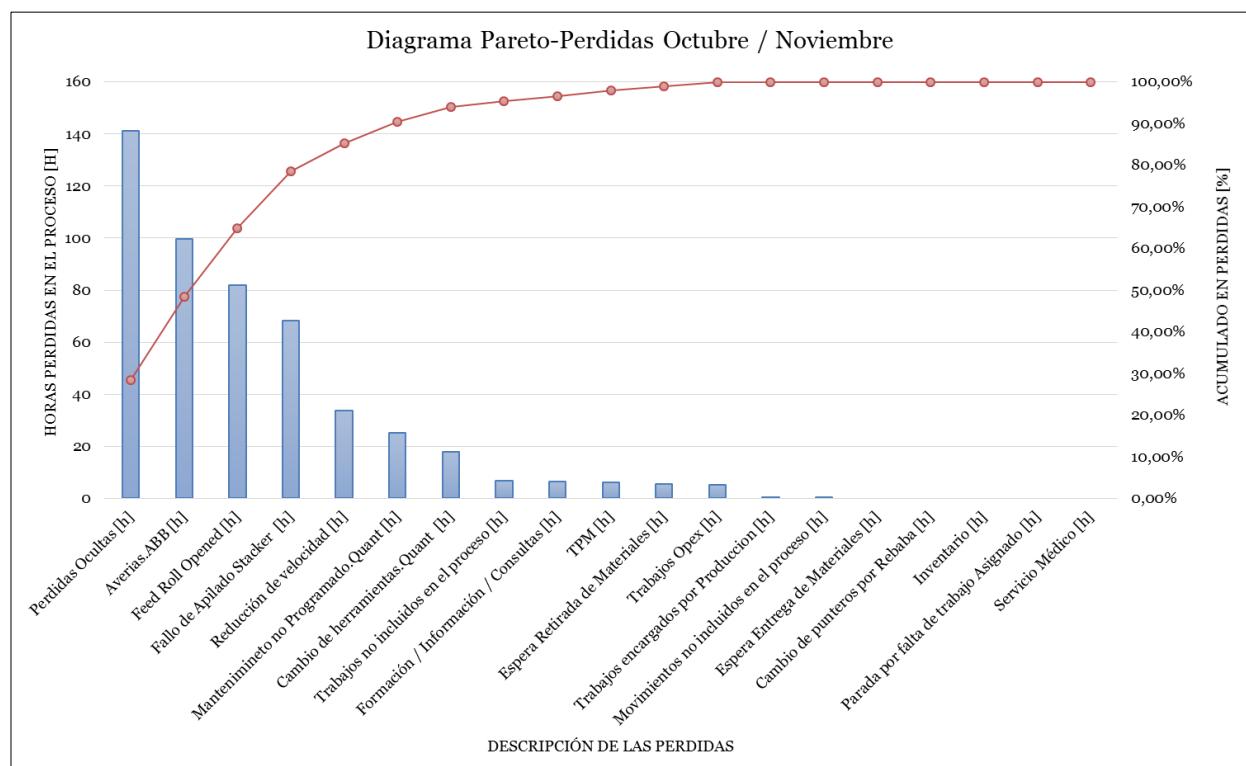
-Anexo C: Análisis de Octubre

-Anexo D: Análisis de Noviembre

Para conocer donde debemos concentrar nuestros esfuerzos para reducir las pérdidas, hemos utilizado algo tan sencillo y eficaz como es el diagrama Pareto. Con esta herramienta ambientada en una filosofía Lean, conoceremos:

- I. Cuáles son los factores más importantes asociados a un problema.
- II. Determinar las causas raíz del problema.
- III. Decidir el objetivo de mejora y los elementos que se deben mejorar.

Para tener una idea más general de los posibles fallos, vamos a agrupar los meses de Octubre y Noviembre en el diagrama Pareto.



Gráfica 1. Diagrama Pareto-Perdidas Octubre / Noviembre

Tomando como regla general: "El 80% de los problemas se pueden solucionar, si se eliminan el 20% de las causas que los originan".

Consideraremos solo centrarnos en los siguientes problemas:

- i. Perdidas ocultas - Ineficiencias en la forma de trabajo / Absentismo)
- ii. Averías ABB- Derivadas del apilado
- iii. Feed Roll Opened - Reposición de cinta de chapa según ancho
- iv. Fallo de apilado - Stacker I-II-III-IV-V
- v. Reducción de velocidad de corte

De los 20 tipos de perdidas posibles, solo vamos a centrarnos en aquellos citados anteriormente ya que representan la mayoría de las pérdidas a excepción de *Feed Roll Opened*, ya que es un tipo de perdida que no podemos evitar debido a su vitalidad, pero en un futuro próximo lo trataremos con un SMED para mejorar la organización en los cambios de rollo de chapa magnética (Proceso en el que se detiene la línea de corte cuando se cambia, o se agota las bobinas de chapa magnética).

Dicho estos, nuestras prioridades de actuación serán las siguientes:

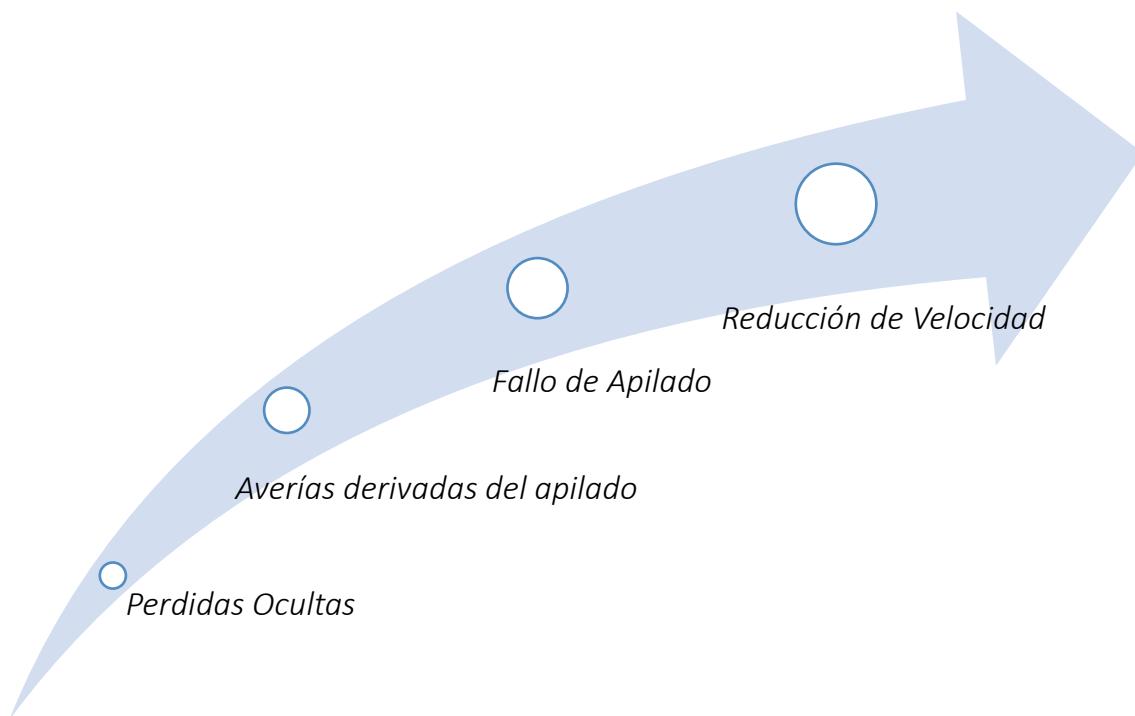
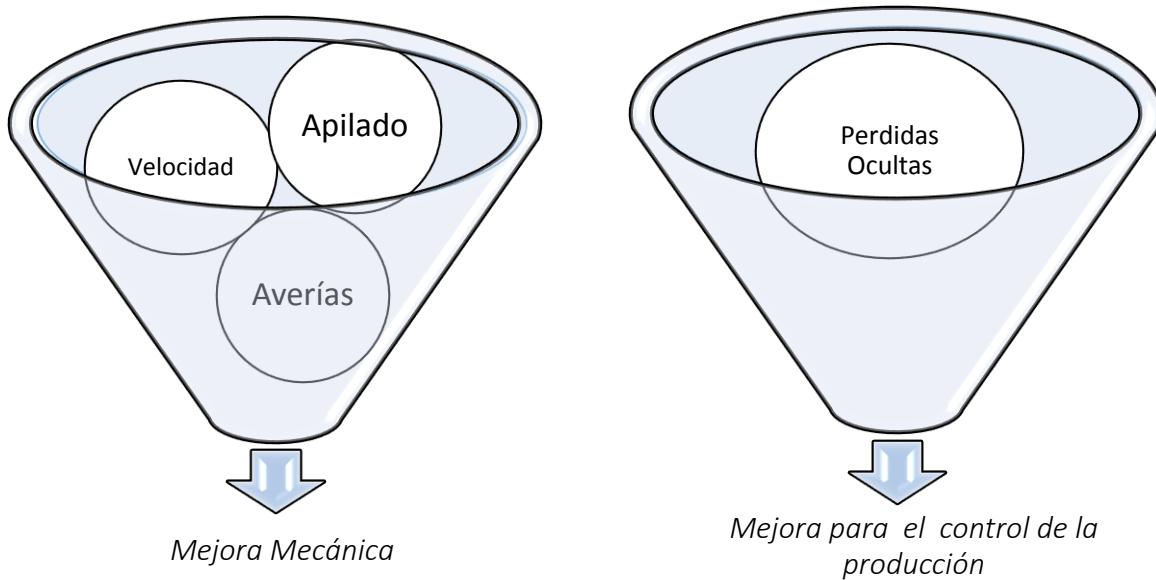


Figura 13. Prioridades de actuación

Teniendo en cuenta que las averías, fallos en el apilado y reducción de velocidad están directamente relacionadas y se asocian a la mecánica de la línea de corte, vamos a definir dos líneas de mejora claramente diferenciadas:



### 3.2.1-Perdidas mecánicas

Haciendo caso omiso de los análisis de los meses de octubre y noviembre (Anexos C y D) y siguiendo la distribución que sigue el indicador OEE, los flujos de pérdidas mecánicas se pueden resumir en lo siguiente:

- *Rendimiento*: En base a la distribución de pérdidas, el margen de mejora mecánico se centra en: Fallos de apilado y reducción de velocidad. En el apartado del rendimiento, este margen de mejora supondría un aumento del 15,18%. Es decir, teniendo en cuenta que hemos obtenido un rendimiento medio en 2017 del 67,81% con este margen de mejora mecánico podríamos ser capaces de llegar a un 83,53% de rendimiento (considerando una cobertura del 100% del margen de mejora).
- *Disponibilidad*: Teniendo en cuenta los tiempos empleados por mantenimiento que tienen una relación directa con el apilado y la reducción de velocidad, el margen de mejora mecánico según disponibilidad se centra en: Avería Apilado/ Otros-PI37. En el año 2017 la disponibilidad media fue del 72,63% y aplicando este margen de mejora, se podría alcanzar una disponibilidad media del 82,02% (+9,39%). (considerando una cobertura del 100% del margen de mejora).

Para poder tener una idea todavía más clara del efecto que supondría la cobertura de dichas mejoras, vamos a simular dicha cobertura para el mes de Noviembre.

Para hacernos una idea de cómo afectaría a la capacidad de producción los márgenes de mejora citados anteriormente, vamos a suponer lo siguiente: Los márgenes de mejoras son teóricos, de manera que alcanzar su totalidad es prácticamente imposible. Dicho esto, vamos a suponer que ocurriría si cubrimos un 50% de los márgenes de mejoras.

Mejoras productivas	Horas
Apilado	
Ahorro directo: 50%	14,20 [h]
Ahorro indirecto - Averías de Apilado: 50%	5,94 [h]
Ahorro indirecto – Mantenimiento por Apilado: 50%	11,17 [h]
Reducción de velocidad	
Ahorro directo: 50%	8,93 [h]

Tabla 5. Márgenes de mejora en el apilado

Para ver cómo afectaría este margen de mejora según nuestro sistema de referencia OEE, vamos a recalcularlo:

-Original

PLANIFICACIÓN	Tiempo de Producción Planificado-ORIGINAL			
DISPONIBILIDAD 70,89%	A	470,30	Tiempo Disponible [h]	
	B	333,39	Tiempo Productivo [h]	70,89%
RENDIMIENTO 71,81%	C	333,39	Capacidad Productiva [h]	
	D	239,42	Producción Real [h]	71,81%
CALIDAD 100,00%	E	608010	Producción Real	
	F	607995	Piezas Buenas	100,00%
OEE 50,91%	50,91%			

Tabla 6. OEE medio Original

-Tras mejora mecánica:

PLANIFICACIÓN	Tiempo de Producción Planificado-DESPUES DE MEJORAS MECÁNICAS			
DISPONIBILIDAD 73,60%	A	470,30	Tiempo Disponible [h]	
	B	346,15	Tiempo Productivo [h]	73,60%
RENDIMIENTO 77,30%	C	346,15	Capacidad Productiva [h]	
	D	267,58	Producción Real [h]	77,30%
CALIDAD 100,00%	E	679527	Producción Real	
	F	679517	Piezas Buenas	100,00%
OEE 56,90%	56,90%			

Tabla 7. OEE medio tras mejora mecánica

Como podemos ver, cubriendo un 50% del margen de mejora hubiésemos obtenido un OEE del 56,90% frente al 50,91% original. En el mes de noviembre se cortaron 149 transformadores y con la supuesta mejora hubiésemos cortado 18 transformadores más. Es decir, con los mismos recursos hemos aumentado nuestra capacidad de producción en un 11,76%.

En vista de esta mejora reduciendo al 50% los fallos en el apilado y los problemas con la reducción de velocidad, merece la pena aplicar medidas para cubrir esta mejora ya que hubiésemos ahorrado solamente en el mes de noviembre:

Full Cost / hora	Horas	Resultado de la mejora €
90 €	40,24 [h]	+ 3.621,6 €

Tabla 8. Impacto económico de las pérdidas mecánicas

### 3.2.2-Perdidas en la productividad

Análogamente al estudio de pérdidas mecánicas, este estudio de pérdidas también procede del análisis de los meses de octubre y noviembre (Anexos C y D) y siguiendo la distribución que sigue el indicador OEE, los flujos de pérdidas en la productividad se pueden resumir en lo siguiente:

- *Rendimiento / Disponibilidad:* En base a la distribución de pérdidas, el margen de mejora por productividad se centra en: 'Perdidas Ocultas'. Estas 'perdidas ocultas', distribuidas tanto en el apartado del rendimiento como en el de la disponibilidad, representaron de media en el mes de octubre y noviembre un 15,11% del tiempo planificado. Es decir, teniendo en cuenta que nuestro OEE ha sido un 50,91%, con este margen de mejora productivo podríamos ser capaces de llegar a obtener un OEE del 59,45%.(considerando una cobertura del 100% del margen de mejora).

Análogamente al apartado anterior, para hacernos una idea de cómo afecta realmente esta 'fábrica oculta' en la producción y cual sería nuestro margen de mejora en este aspecto, vamos a tomar siendo realistas que: Cubriremos un 50% de las pérdidas ocultas de Noviembre.

Mejoras productivas	Horas
Perdidas Ocultas	
Ahorro directo – Perdidas Ocultas en Rendimiento : 50%	2,90 [h]
Ahorro indirecto – Perdidas Ocultas en Disponibilidad : 50%	28,99 [h]

Tabla 9. Margen de mejora por aumento de la productividad

Para ver cómo afectaría este margen de mejora según nuestro sistema de referencia OEE, vamos a recalcularlo:

-Original

PLANIFICACIÓN	Tiempo de Producción Planificado-ORIGINAL			
	Tiempo Disponible [h]		Tiempo Productivo [h]	
DISPONIBILIDAD 70,89%	A 470,30	Tiempo Disponible [h]		
RENDIMIENTO 71,81%	B 333,39	Tiempo Productivo [h]	70,89%	
CALIDAD 100,00%	C 333,39	Capacidad Productiva [h]		
	D 239,42	Producción Real [h]	71,81%	
OEE 50,91%	E 608010	Producción Real		
	F 607995	Piezas Buenas	100,00%	
OEE 50,91%	50,91%			

Tabla 10. OEE medio Original

Tras mejora productiva:

PLANIFICACIÓN	Tiempo de Producción Planificado-DESPUES DE MEJORA PRODUCTIVA			
	Tiempo Disponible [h]		Tiempo Productivo [h]	
DISPONIBILIDAD 75,70%	A 470,30	Tiempo Disponible [h]		
RENDIMIENTO 72,90%	B 356,00	Tiempo Productivo [h]	75,70%	
CALIDAD 100,00%	C 356,00	Capacidad Productiva [h]		
	D 259,51	Producción Real [h]	72,90%	
OEE 55,18%	E 659030	Producción Real		
	F 659020	Piezas Buenas	100,00%	
OEE 55,18%	55,18%			

Tabla 11. OEE tras mejora productiva

Tras cubrir este 50% del margen de mejora hubiésemos obtenido un OEE del 56,25% frente al 50,91% original. Considerando que en el mes de noviembre se cortaron 149 transformadores, cubriendo esta mejora, hubiésemos cortado 16 transformadores más. Manteniendo los mismos recursos hemos podido generar más valor, aumentando nuestra capacidad de producción en un 10,49%.

Atendiendo a valoración económica de esta supuesta mejora (cubriendo el 50% del margen de mejora), tendríamos lo siguiente solo para el mes de noviembre:

Full Cost / hora	Horas	Resultado de la mejora €
90 €	31,89 [h]	+ 2.870,1 €

Tabla 12. Impacto económico de las pérdidas ocultas

## 4.-Análisis de pérdidas

Una vez conocida la correcta distribución de las pérdidas, en este apartado vamos a hacer un análisis más en profundidad de estas pérdidas con el objetivo de enfocar correctamente nuestras propuestas de mejora.

### 4.1.-Análisis de pérdidas mecánicas

Trazada toda la información, hemos utilizado Matlab para dicho análisis. En primer lugar, para ver cuánto de estrecha es la relación entre nuestras variables, hemos calculado su correlación.

Esta correlación puede variar en [-1,1]. Si la correlación es -1, podemos decir que las dos variables que estamos analizando tienen una correlación perfecta negativa, por el contrario si es 1, la correlación será perfecta positiva.

Cuanto más cercano estén del '0', la correlación será más débil. Dicho esto, vamos a calcular la correlación entre las variables más importantes: Velocidad de Corte y Longitud / Anchura:

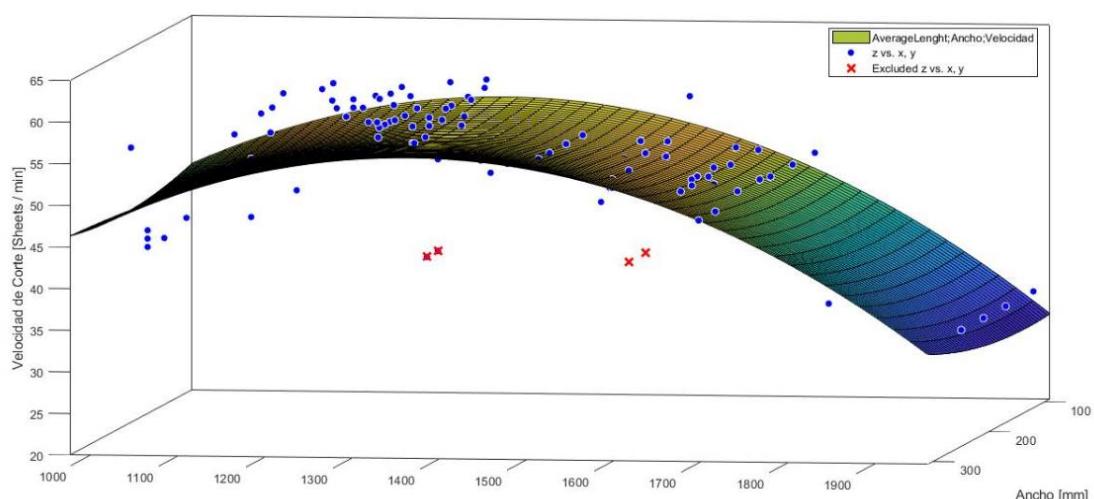
- `corr(data.AverageSheetLengthmm,data.VelocidaddeCorteNmin)`

Ans = -0.5396

- `corr(data.Anchuramm,data.VelocidaddeCorteNmin)`

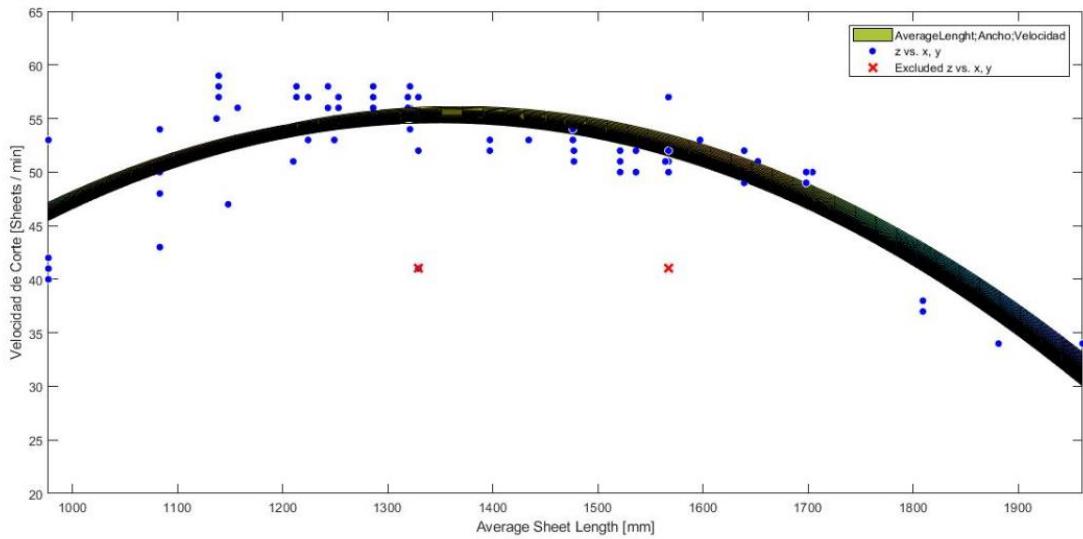
Ans = 0.0072

Como podemos apreciar, la única relación esta entre la longitud y la velocidad de corte. Para tener una mejor idea, vamos a representar las tres variables con un ajuste de curva ajustada con un modelo lineal polinómico de grado 2.

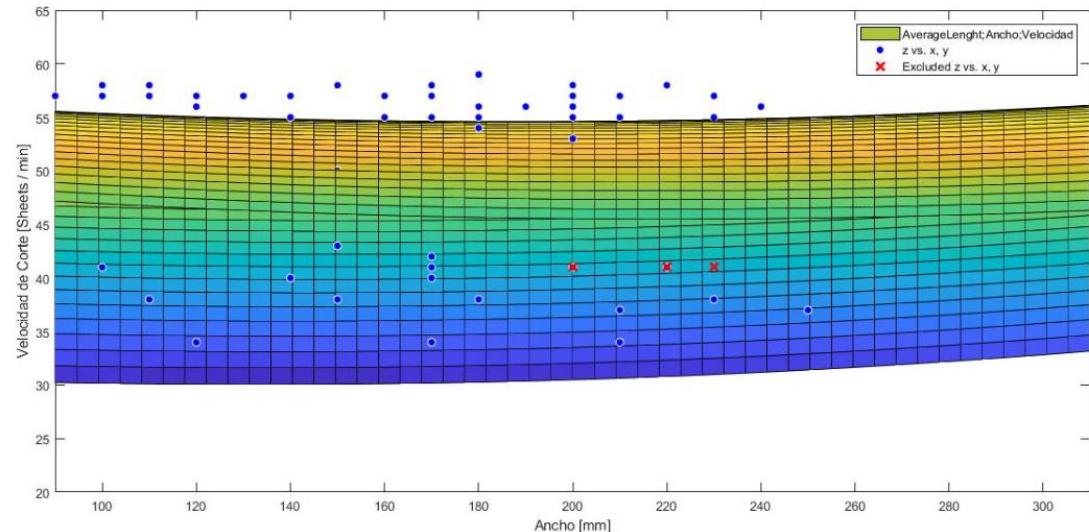


Gráfica 2. Fit Curve - Linear Model Poly22

Para tener una idea más clara de las correlaciones calculadas anteriormente, vamos a representar en 2D la velocidad de corte frente a: longitud y el ancho.



Gráfica 3. Velocidad de Corte Vs. Longitud de chapa



Gráfica 4. Velocidad de Corte Vs. Ancho de Chapa

Respectivamente se puede apreciar perfectamente que la velocidad de corte está relacionada con la longitud de la chapa y por tanto la correlación es significativa.

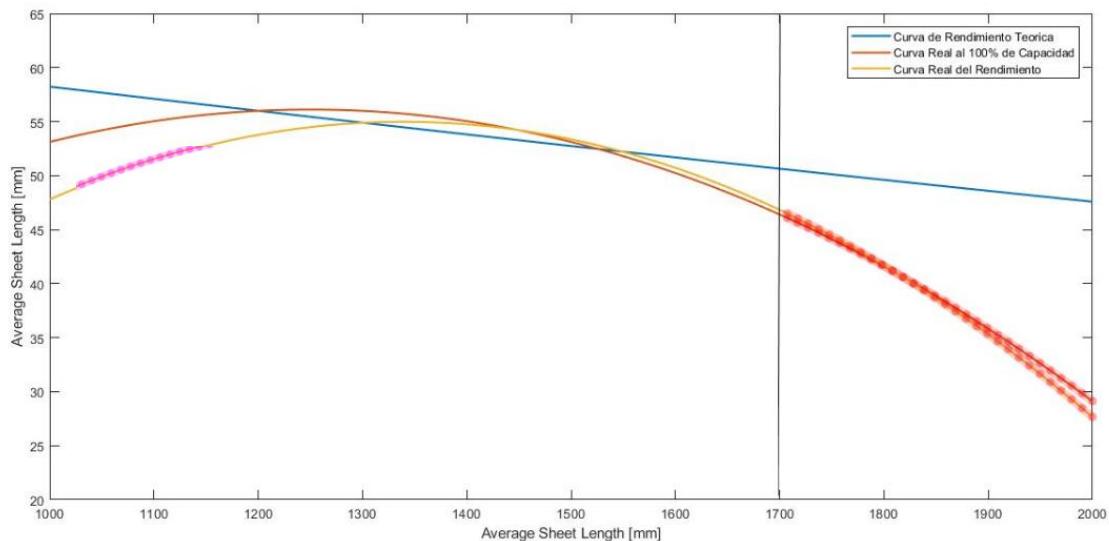
Por otro lado, podemos ver que no existe relación alguna entre la velocidad de corte y el ancho de la chapa ya que todos los puntos están dispersos sin haber una relación entre ambas variables, justificando así que la correlación es nula.

Centrándonos en la velocidad de corte respecto la longitud de la chapa, vamos a hacer una comparativa entre las siguientes curvas de rendimientos:

-Curva de rendimiento teórica: Curva de trabajo teórica según las especificaciones del fabricante (Anexo E.1)

-Curva de rendimiento real al 100% de la capacidad: Curva de trabajo real, trabajando al 100% de la capacidad (Anexo E.2)

-Curva de rendimiento real: Curva de trabajo real (Anexo E.3)



Gráfica 5. Benchmarking Curva de Rendimientos

Analizando por partes, se puede apreciar que para chapas de una longitud superior a 1700 mm cortamos siempre al 100% de nuestra capacidad pero está muy por debajo de la velocidad de corte teórica. Dicho esto, existe una limitación que no podemos explicar y debemos recurrir al fabricante ya que la maquina no está cortando según los estándares establecidos.

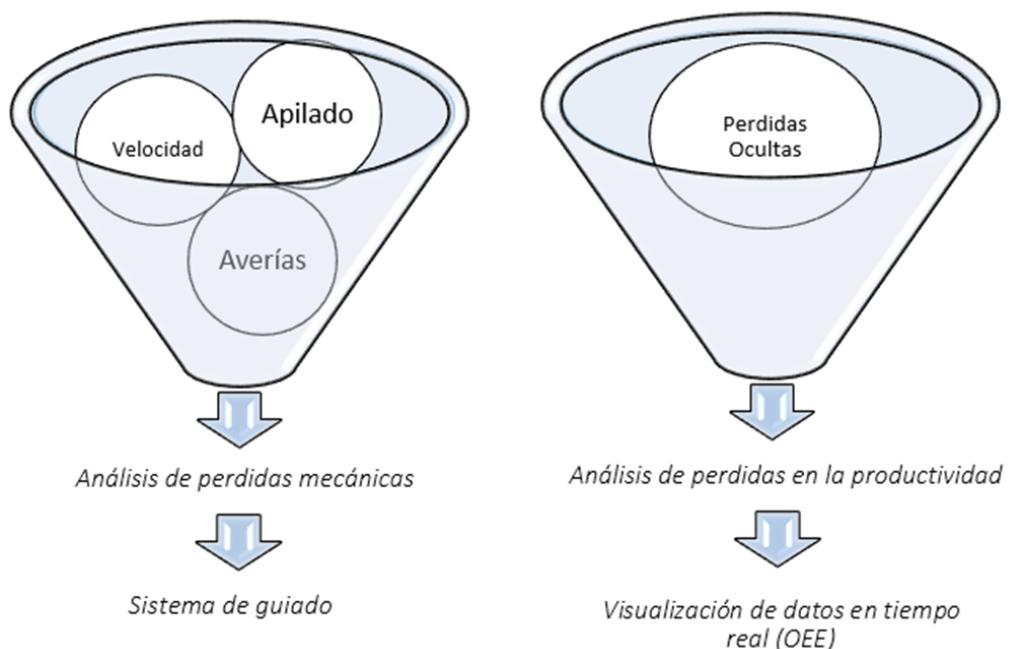
En el otro lado del eje abscisas podemos ver que no hay ningún tipo de limitación respecto a la velocidad de corte teórica ya que la velocidad de corte real está relativamente cerca de la teórica, pero se puede ver que no estamos cortando siempre al máximo de nuestra capacidad. A medida que se reduce la longitud de la pieza, la curva de corte real se despega de la curva real al 100% de la capacidad de corte.

## 4.2.-Análisis de pérdidas en la productividad

Atendiendo a las pérdidas en la productividad, tenemos que analizar aquello que hemos considerado como 'pérdidas ocultas'. Como su nombre bien indica, son pérdidas de las que desconocemos su procedencia. Dicho esto, lo único a lo que podemos recurrir es al análisis cualitativo para este tipo de pérdidas con la ayuda de todos los implicados en el proceso productivo. Todos ellos coinciden en que estas pérdidas provienen de actividades del proceso desconocidas, ausencias del puesto de trabajo e ineficiencias no contabilizadas.

## 4.3.-Proposición de mejoras

En vista de este análisis, las mejoras que se van a llevar a cabo serán las siguientes:



## 5.-Sistema de guiado

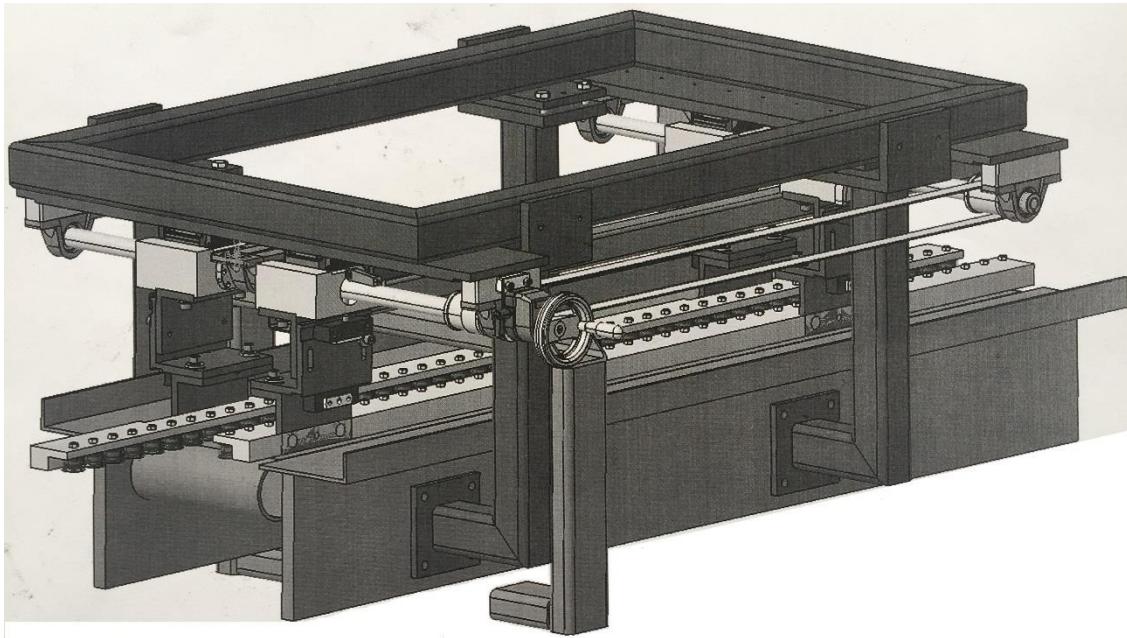


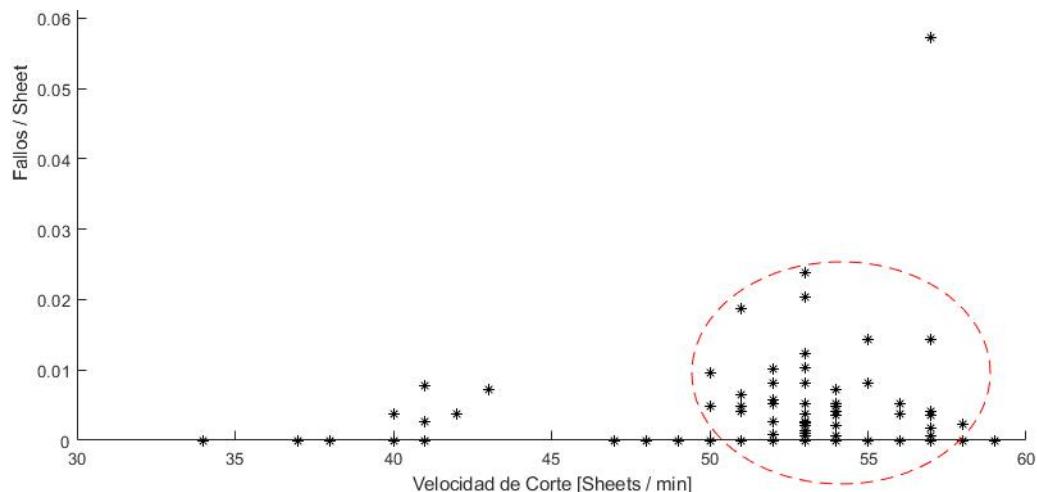
Figura 14. Prototipo Sistema de Guiado

Fijándonos en el análisis de perdidas mecánica, nos planteamos la siguiente pregunta:

¿Por qué no cortamos al 100% cuando la longitud de la chapa empieza a disminuir? Tomando como referencia la ilustración 8, podemos ver que conforme disminuía la longitud de la chapa y en consecuencia aumentaba la velocidad de corte, la curva del rendimiento al 100% se empezaba a despegar de nuestra curva de rendimiento real. Es decir, existe algún tipo de fallo que nos está impidiendo cortar al 100% de nuestra capacidad.

### 5.1.-Causa de fallo

Para ahondar más en este problema, vamos a ver la distribución de fallos en el apilado por cada chapa cortada, según la velocidad de corte:



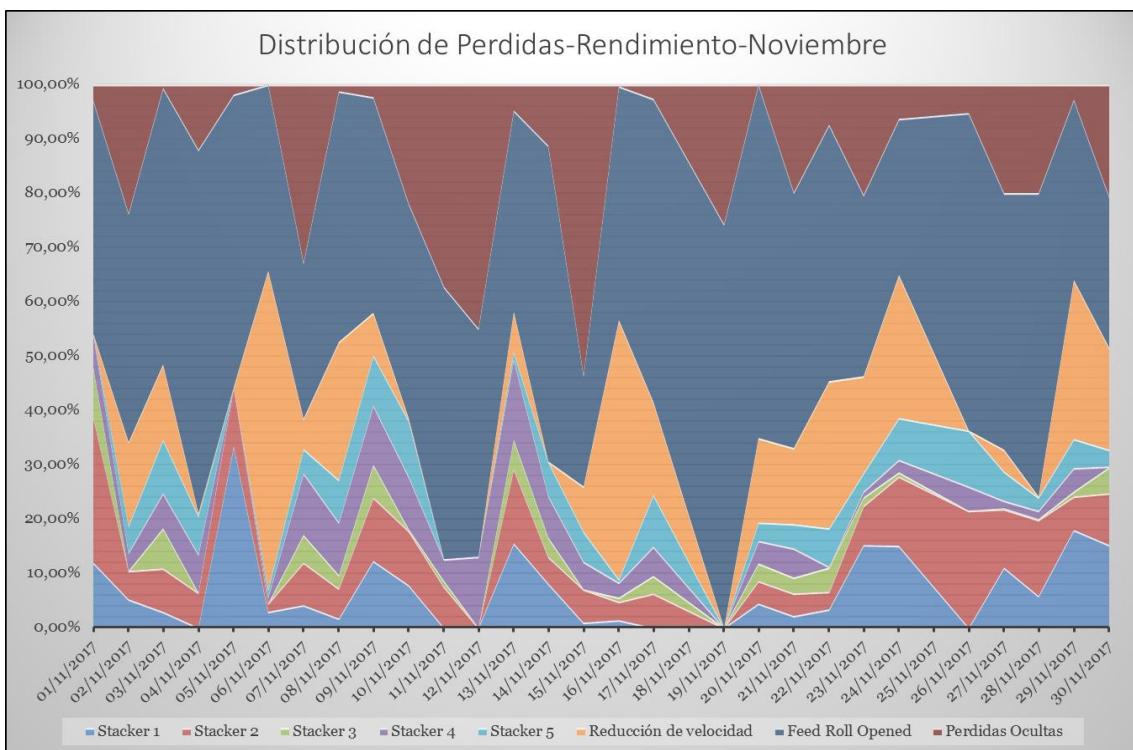
Gráfica 6. Fallos por Chapa Cortada Vs. Velocidad de Corte

En vista de las gráficas anteriores, podemos concluir que la mayor parte de las pérdidas mecánicas proviene de:

-Intentar cortar a velocidades elevadas donde se da paso una alta tasa de fallo de apilado.

-Por el contrario, cuando los operarios intentan reducir la velocidad de corte (trabajando por debajo de la capacidad máxima) las pérdidas se derivan a la reducción de velocidad.

Es decir, las perdidas por reducción de velocidad y las perdidas por el apilado vienen a ser lo mismo. La única diferencia es que se decide sacrificar. En la siguiente gráfica de distribución de fallos, esto se puede apreciar claramente:



Gráfica 7. Distribución de Perdidas

Cuando las perdidas por fallo de apliado (Stacker 1,2,3,4,5) son significativas, las perdidas por reducción de velocidad son infimas. Analogamente, para altas perdidas por reducción de velocidad encontrariamos perdidas poco significativas por fallo de apilado.

Una vez cococido el origen de estas perdidas mecánicas vamos a explicar porque sucede esto (Anexo F).

## 5.2.-Descripción Sistema de guiado

Para evitar este fallo justo a la salida del cizallamiento de la pieza, la solución es colocar un sistema de guiado, evitando así que se creen este tipo de desviaciones.

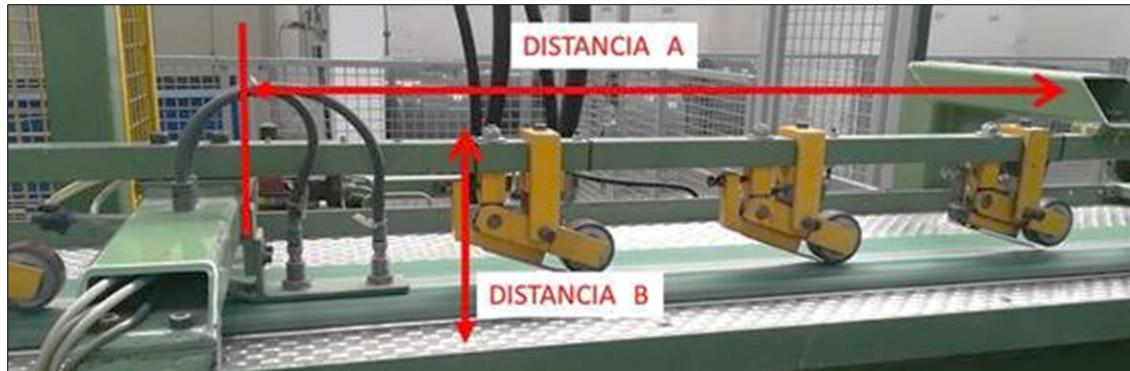


Figura 15. Zona de Colocación de Guiado

Para ello, se ha diseñado una estructura auxiliar acoplada a linea la cual se encarga de dicho ajuste para el guiado. Para el ajuste se han diseñado dos guías simétricas formadas por 25 ruedines donde los 10 primeros de ellos tienen una distancia entre ejes de 50mm y los demás 80mm.

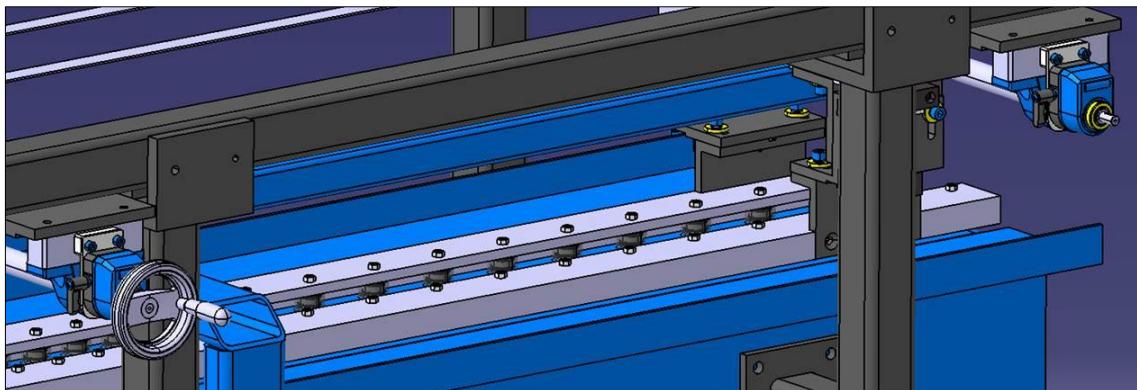


Figura 16. Sistema de guiado

Según el plan de ruta que tenemos, inicialmente el ajuste esta diseñado para que se haga de forma manual y no automaticamente ya que si fuese de manera automatica el desembolso de la inversion inicial seria demasiado elevado sin tener unas garantias de éxito aseguradas. Dicho esto, la estructura esta preparada con un eje de acople motor, con el objetivo de automatizar el proceso si los resultados son satisfactorios.

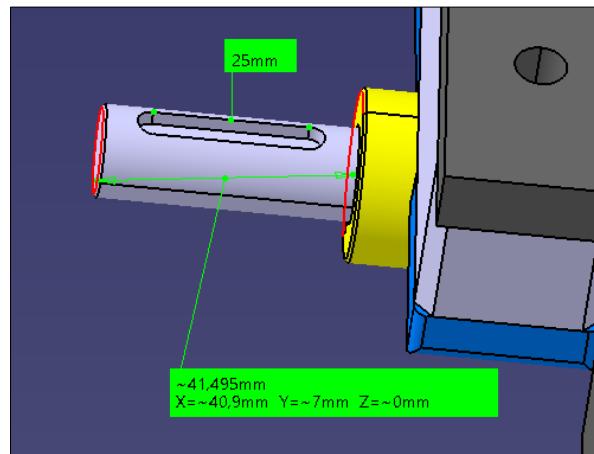


Figura 17. Eje Acople Motor

### 5.3.-Viabilidad de la inversión

La estructura del sistema de guiado ha tenido un costo de 15.700 € y según los calculos del margen economio de mejora mensual en la tabla 8, el resultado económico teórico de dicha inversión para el priemer año será la siguiente:

	<i>Inversion Inicial</i>	<i>ROI por mes</i>		<i>ROI acumulado</i>
<i>Mes 1</i>	15.700,00 €	-	12.078,40 €	-
<i>Mes 2</i>	-		3.621,60 €	-
<i>Mes 3</i>	-		3.621,60 €	-
<i>Mes 4</i>	-		3.621,60 €	-
<i>Mes 5</i>	-		3.621,60 €	2.408,00 €
<i>Mes 6</i>	-		3.621,60 €	6.029,60 €
<i>Mes 7</i>	-		3.621,60 €	9.651,20 €
<i>Mes 8</i>	-		3.621,60 €	13.272,80 €
<i>Mes 9</i>	-		3.621,60 €	16.894,40 €
<i>Mes 10</i>	-		3.621,60 €	20.516,00 €
<i>Mes 11</i>	-		3.621,60 €	24.137,60 €
<i>Mes 12</i>	-		3.621,60 €	27.759,20 €

Tabla 13. ROI del Sistema de guiado

Como se puede apreciar según calculos teóricos y aproximados, en el Mes 5 tendríamos amortizada nuestra inversion empezando a partir de ese momento a generar valor añadido.

## 6.-Visualización de datos en tiempo real (OEE)

Contar con datos de calidad, de manera automatizada y en tiempo real, es quizá la parte más importante de cualquier proceso de transformación digital de una industria, sin la cual, se estará fracasando antes de empezar.

Los datos construyen la información que necesitamos para la toma de decisiones.

Las paradas, las mermas, las averías, los cuellos de botella... están directamente relacionados con los resultados económicos de la compañía y su competitividad.

Nuestro objetivo de esta propuesta de mejora para el control de la producción, es obtener información precisa sobre el rendimiento, disponibilidad y calidad de nuestros procesos en tiempo real y estar seguros de que no estamos conviviendo con esa 'fábrica oculta' que nos hace perder tiempo y dinero.

Esa 'fábrica oculta' es para nosotros esos tiempos ocultos que en octubre y noviembre representaron una media del 15,11% del tiempo planificado. Como explicamos anteriormente, estos tiempos ocultos vienen de actividades del proceso desconocidas, ausencias del puesto de trabajo e ineficiencias todavía no contabilizadas.

En el anexo G, se explica que datos se van utilizar y como para la visualización de datos en tiempo real.

### 6.1. - Online OEE Measurement System

Online OEE measurement utiliza una interfaz de fácil manejo para el usuario además de una clara visualización de las pérdidas de eficiencia en los drivers.

Las razones por la cuales hemos decidido instalar este software de *Good Solutions* han sido las siguientes:

- Escalable
- Cubre todos los elementos del OEE (A, P, Q)
- Flexible para cualquier tipo de desarrollo
- Apto para plataformas móviles ( iOS, Android)

Este sistema nos permite una optimización del OEE en tiempo real, además de la posibilidad de personalización del entorno interactivo.



Figura 18. Visualización de datos



Figura 19. Entorno interactivo

## 6.2.-Dispositivos para los operarios

Esta parte es quizá la que más interesante sea bajo mi punto de vista. El hecho de hacer ver a los operarios como están trabajando puede ser donde más potencial de mejora se puede obtener. Haciendo referencia al TPM creado por Nakajima, en Japón, "mantenimiento" significa "asset management" es decir, gestión de los activos. Para ellos el mantenimiento es algo más transcendente, es una filosofía que hace que se involucre a todas las personas que forman parte de la empresa para que contribuyan a su mejora de manera continua. Por eso, este sistema nos daría la oportunidad de hacer vernos como se estamos trabajando, para así hacer lo posible por mejorar de manera continua.

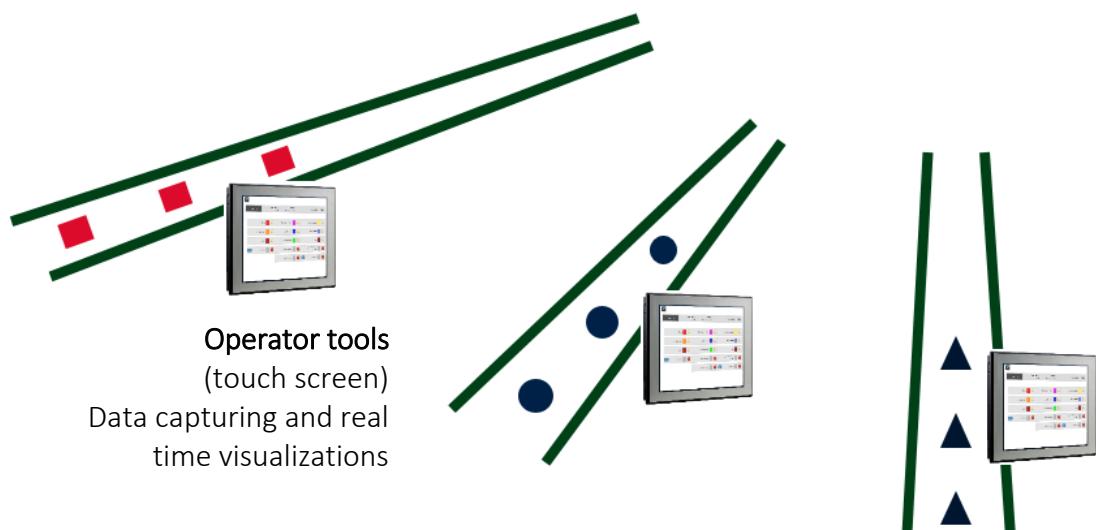


Figura 20. Data capturing and real time visualization

### 6.3.-Dispositivos para la oficina

En el lado contrario, para el departamento de producción que se encargar del control y el correcto funcionamiento de la línea, se instalaran de forma análoga a la línea de corte unas pantallas para el control del rendimiento.

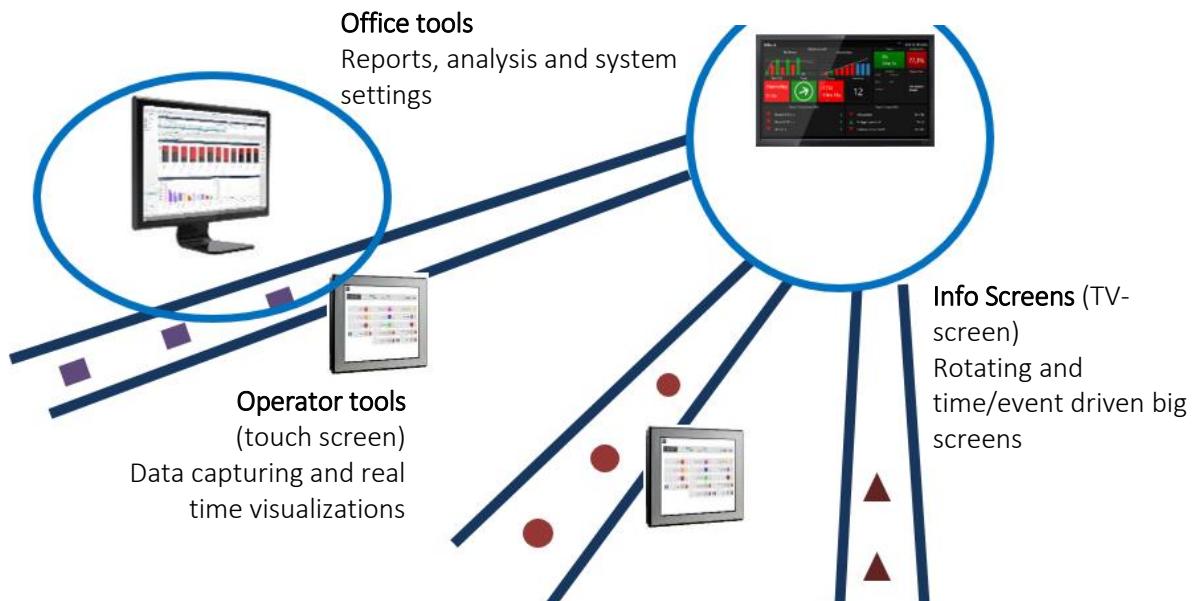


Figura 21. Office tools

### 6.4.-Aplicación Móvil – Visualización

A parte de los dispositivos de control mediante las herramientas de oficina, también se podrá tener el mismo control mediante una aplicación móvil.



- Seguimiento de output, ritmo de trabajo y eficiencia en tiempo real.
- Control de la producción en cualquier lugar del mundo
- Notificaciones de las desviaciones
- 'Chat function' entre el dispositivo móvil y el operador

Figura 22. Aplicación móvil

## 6.5.-Razones de uso

¿Por qué OEE?

- Aumenta la productividad y eficiencia.
- Tomamos decisiones basándonos en hechos.
- Reacción inmediata gracias a la información en tiempo real.
- Motiva a la gente a seguir una filosofía de mejora continua.

¿Por qué Online OEE Measurement System?

- Gran funcionalidad.
- Escalable y flexible.
- Arquitectura sólida.
- Facil de usar e intuitivo

## 6.5.-Viabilidad de la inversión

El desarrollo de Online OEE Measurement System para la mejora del control de la producción ha supuesto una inversión inicial de 9.500 € y según los cálculos del margen económico de mejora mensual en la tabla 12, el resultado de dicha inversión para el primer año será la siguiente:

	<i>Inversion Inicial</i>	<i>ROI por mes</i>	<i>ROI acumulado</i>
<i>Mes 1</i>	9.500,00 €	- 6.629,90 €	- 6.629,90 €
<i>Mes 2</i>	-	2.870,10 €	- 3.759,80 €
<i>Mes 3</i>	-	2.870,10 €	- 889,70 €
<i>Mes 4</i>	-	2.870,10 €	1.980,40 €
<i>Mes 5</i>	-	2.870,10 €	4.850,50 €
<i>Mes 6</i>	-	2.870,10 €	7.720,60 €
<i>Mes 7</i>	-	2.870,10 €	10.590,70 €
<i>Mes 8</i>	-	2.870,10 €	13.460,80 €
<i>Mes 9</i>	-	2.870,10 €	16.330,90 €
<i>Mes 10</i>	-	2.870,10 €	19.201,00 €
<i>Mes 11</i>	-	2.870,10 €	22.071,10 €
<i>Mes 12</i>	-	2.870,10 €	24.941,20 €

Tabla 14. ROI de OEE Measurement System

Analogamente, según cálculos teóricos y aproximados, en el Mes 4 tendríamos amortizada nuestra inversión empezando a partir de ese momento a generar valor añadido.

## 7. -Aplicación y problemática encontrada

En este apartado vamos a tratar todos los problemas que hemos encontrado a lo largo de este proyecto y también de aquellos que proveemos encontrar en un futuro en fases más avanzadas de la mejora continua.

Los problemas encontrados a la hora del desarrollo de este proceso de mejora, han abarcado desde la toma de datos hasta la aplicación de dicha mejora.

### 7.1.-En toma de datos

Este punto resulta ser el más importante, además de ser la parte inicial de nuestro proyecto. A la hora de recopilar la máxima información posible, encontramos una evolución muy progresiva a pesar de lo que había planteado inicialmente. En un principio la toma de datos se iba a basar estrictamente en los datos recogidos por los informes de producción rellenados por los operarios (Anexo B).

Este informe diario de producción tuvo que ser modificado hasta tres veces porque inicialmente había demasiados campos para llenar y más adelante decidimos desechar algunos de ellos.

Otro problema encontrado fue la “actitud” encontrada en ciertos casos de no querer colaborar con este proyecto de mejora ya que encontrábamos cierto informes con datos sin sentido e incluso erróneos.

Por estos motivos, decidimos utilizar la base de datos interna de la línea de corte y reducir al máximo los datos recogidos por los operarios. Además de obtener más datos y de calidad, el concepto de digitalización es muy importante ya que nos ayuda a tomar mejores gracias a una descripción más exacta de realidad presente en el proceso.

Otro factor arraigado a la toma de datos es el tiempo. Es la parte en la que hemos utilizado más tiempo y la que al final es la menos visible en el desarrollo de esta mejora continua. Sin duda alguna la clave de una buena trazabilidad del OEE ha sido la correcta disposición de datos y en la selección de ellos para dicha trazabilidad.

## 7.2.-En el sistema de guiado

Una vez ya en fábrica las guías para línea de corte, el principal problema que tuvimos fue que las guías marcaban la chapa justo a la entrada. De manera que estuvimos tres semanas sin las guías en funcionamiento hasta que los fabricantes hicieron los ajustes necesarios.



Figura 23. Chapa marcada por el Sistema de guiado

## 7.3.-En la implantación de Online OEE Measurement System

Para la implantación de dicha mejora, en la cual todavía estamos trabajando todavía, ha sido la larga espera para recibir el técnico por parte de Good Solutions AB. Estos tres meses de esperar han hecho que no se pueda ver plasmado en este proyecto dicha implantación. Además de esto, otra dificultad encontrada ha sido la disposición de los datos para la correcta trazabilidad del OEE. Al ser un proceso en el que la eficiencia de la maquina este directamente relacionada con la del operario, ha hecho que para la correcta trazabilidad del OEE de manera automática se hayan planteado varios controles auxiliares (pulsadores) para el control de esos 'tiempos ocultos'.

Pensado en un futuro próximo, cuando se haya implantado el sistema, pensamos que habrá un cierto rechazo como en otras fábricas ha pasado, porque el hecho de tener un control más exhaustivo siempre genera rechazo, pero es algo necesario no solo para el control de la producción sino también para la detección precoz de fallos en la línea.

## 8.-Conclusiones

### 8.1.-Sobre el Trabajo Fin de Grado

El resultado de este Trabajo Fin de Grado consiste en la implantación de una mejora continua para la línea de corte Georg. Dicha mejora debe tener como principal características el aumento de la eficiencia de la línea, eliminando aquello que no genere valor. Por lo tanto, la motivación del proyecto surge al buscar ser más competitivos en un mercado cada vez más turbulento.

Para llevar a cabo dicha mejora, se ha seguido una serie de pasos de los cuales hemos extraído las siguientes conclusiones:

- La toma de datos es la parte más importante para tomar las decisiones correctivas acertadas. Este paso aparentemente invisible en el proyecto, nos ha permitido diferenciar las causas de fallos más importantes y centrar nuestra atención en lo verdaderamente importante. Al final, podemos decir que la información es poder.
- Una vez centrado nuestros esfuerzos por mejorar el proceso de apilado, el sistema de guiado implementado en la línea está dando buenos resultados. Los fallos se han reducido aparentemente, pero todavía es necesario más tiempo para estar seguros del éxito de dicha mejora.
- La implementación del OEE System como método de visualización de datos en tiempo real, no solo ha significado un primer paso en la digitalización de una industria tan ‘artesanal’ como es la fabricación de transformadores, sino que nos permitirá conocer de forma precoz cualquier anomalía en la producción y en consecuencia veremos una mejora de su rendimiento. Antes hemos hablado de la importancia de los datos, pero si estos no se explotan de forma correcta, estaremos perdiendo una ventaja competitiva la cual podría marcar la diferencia frente a nuestros competidores.

### 8.2.-Futuras líneas de trabajo

Aunque el objeto de trabajo de este proyecto es la mejora continua de la línea de corte transversal Georg, el sistema de visualización de datos OEE System podría ser implantado en todos los procesos presente en ABB.

Recurriendo al concepto original del *total productive maintenance* (TPM), ‘total’ quiere decir que todo el mundo debe involucrarse dicha mejora. Este ejemplo llevado a nuestra línea corte, vendría a ser que no solamente el personal de mantenimiento fuese en el encargado de el correcto funcionamiento de dicha línea, sino que hacer que las personas que trabajen en ella también tenga esa filosofía de ‘querer mejorar constantemente’ es decir, que tengan una filosofía Lean.

Por eso la aplicación de este sistema en todos los procesos podría generar grandes beneficios convirtiéndonos en una fábrica más productiva, siendo capaces de generar más con los mismos recursos.

Haciendo referencia a los posibles tipos de pérdidas que hemos comentado anteriormente, consideraremos hacer un SMED del 'Feed Roll Opened' que es la reposición o cambio de los rollos de chapa.

En este proceso que ha representado a lo largo de los meses de Octubre y Noviembre más de 80 horas, sería considerable hacer un SMED para reducir los tiempos de cambio de rollo.

La motivación de hacer un SMED para mejorar la organización de dicha actividad ha sido encontrar en la base de datos números casos donde la reposición de dichos rollos de chapa excedía los tiempos considerados por metrología, además de ser una actividad muy significativa por el tiempo que se emplea en ella.

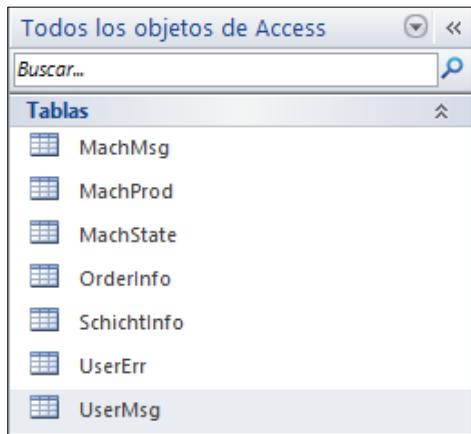
Con un cambio tan sencillo en la organización, que no requiere ningún tipo de modificación mecánica en la línea, podríamos reducir el tiempo de cambio y aumentar la fiabilidad del proceso de corte continuo en la línea Georg.

## Bibliografía

- [1] Patrik Jonsson, Magnus Lesshammar, (1999) "Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 19 Issue: 1, pp.55-78.
- [2] Seiichi Nakajima, (1988) "Introduction to TPM: Total Productive Maintenance (Preventative Maintenance Series)".
- [3] Seiichi Nakajima, un legado de constancia y resultados (1919 – 11 de abril, 2015)-In memoriam - Luis Felipe Sexto.
- [4] Dal, B., Tugwell, P. & Greatbanks, R. (2000), Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement: A practical analysis. International Journal of Production Research.
- [5] Muchiri, P. & Pintelon, L., (2008), "Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion", International Journal of Production Research, vol. 46, n.13, pp. 3517-3535.
- [6] Ericsson, J. (1997), Disruption analysis – An important Tool in Lean Production. Phd thesis. Department of Production and Material Engineering, Lund University, Sweden.
- [7] Technical Documentation Mechanic Georg-Cut to length line
- [8] Operation manual - Georg
- [9] <http://www.goodsolutions.se/sv/>
- [10] <http://new.abb.com/>

## ANEXO A: Descripción Base de Datos Georg

La base de datos para la línea de corte transversal George está estructurada de la siguiente manera:



Los datos que vamos a utilizar nosotros son los siguientes:

- MachMsg
- MachProd
- MachState

Tabla 15. Conjunto de bases de datos Georg

### Anexo A.1- Mensajes en la línea de corte: MachMsg

MachMsg								
MSG_ID	SCHICHT_ID	MSG_START	MSG_ENDE	MSG_TIME	MSG_NR	MSG_TXT	ORDER_ID	
1	2	11/04/2017 8:41:21	11/04/2017 8:58:07	1006	121	overcurrent SEW drive transport rolls	0	
2	2	11/04/2017 8:41:23	11/04/2017 8:58:07	1004	122	overcurrent SEW drive runout conveyor	0	
3	2	11/04/2017 8:41:25	11/04/2017 8:58:07	1002	123	overcurrent SEW drive bypass conveyor 2	0	
4	2	11/04/2017 8:41:27	11/04/2017 8:58:07	1000	124	overcurrent SEW drive incline conveyor	0	
5	2	11/04/2017 8:41:29	11/04/2017 8:58:07	998	125	overcurrent SEW drive bypass conveyor 1	0	
6	2	11/04/2017 8:41:31	11/04/2017 8:58:07	996	126	overcurrent SEW drive sideguides	0	
7	2	11/04/2017 8:41:33	11/04/2017 8:58:07	994	127	overcurrent SEW drive bypass conveyor 3	0	
8	2	11/04/2017 8:41:35	11/04/2017 8:58:07	992	130	oil level too low ... pump off	0	
9	2	11/04/2017 8:41:37	11/04/2017 8:58:07	990	131	oil temperature > 70° C	0	
10	2	11/04/2017 8:41:39	11/04/2017 8:58:07	988	133	filter polluted main pump	0	
11	2	11/04/2017 8:41:41	11/04/2017 8:58:07	986	149	overcurrent proportional valve control	0	
12	2	11/04/2017 8:41:43	11/04/2017 8:58:07	984	161	pressure transport roll not OK	0	
13	2	11/04/2017 8:41:45	11/04/2017 8:58:07	982	167	fault SIEMENS drive feeder	0	
14	2	11/04/2017 8:41:49	11/04/2017 8:58:07	978	178	V-notch 1 lat. movement on inward / outward limit	0	
15	2	11/04/2017 8:41:51	11/04/2017 8:58:07	976	182	V-notch 5 lat. movement on inward / outward limit	0	
16	2	11/04/2017 8:41:53	11/04/2017 8:58:07	974	194	holepunch 1 long. movement on forward / reverse limit	0	
17	2	11/04/2017 8:41:55	11/04/2017 8:58:07	972	197	fault SIEMENS drive holepunch 2 long. movement	0	
18	2	11/04/2017 8:41:57	11/04/2017 8:58:07	970	198	holepunch 2 long. movement on forward / reverse limit	0	
19	2	11/04/2017 8:42:03	11/04/2017 8:58:07	964	265	fault SIEMENS drive stacking belt 2	0	

Tabla 16. Base de datos: Mensajes en la línea de corte

En este primer apartado vamos a poder apreciar todos los mensajes que emite la máquina de corte y la duración de estos. Dicha duración viene definida en MSG\_TIME [seg.], que es la diferencia entre MSG\_START (inicio de mensaje) y MSG\_END (final). La identificación del tipo de mensaje la encontramos en MSG\_NR donde este valor puede estar comprendido entre [1-380], es decir tenemos 380 tipos de mensajes. La descripción abreviada de estos mensajes la encontramos en MSG\_TXT.

Respecto al cálculo del OEE, este apartado no repercute sobre él. Solo aporta información para averiguar si podemos encontrar algún tipo de mensaje fallo, que se esté repitiendo más de lo habitual.

## Anexo A.2- Producción de la línea de corte: MachProd

MachProd								
PROD_ID	SCHICHT_ID	PROD_START	PROD_ENDE	PROD_TIME	PROD_STAT	PIECE_CNT	PROGNAME	
76	10	17/04/2017 9:56:58	17/04/2017 10:05:44	526	0	350	ROBOT741	
77	10	17/04/2017 10:07:37	17/04/2017 10:12:54	317	0	210	ROBOT741	
78	10	17/04/2017 10:12:54	17/04/2017 10:17:00	246	0	210	ROBOT741	
79	10	17/04/2017 10:17:00	17/04/2017 10:22:58	358	0	315	ROBOT741	
80	10	17/04/2017 10:22:58	17/04/2017 10:36:29	811	0	315	ROBOT741	
81	10	17/04/2017 13:13:32	17/04/2017 13:25:15	703	0	245	ROBOT741	
82	15	18/04/2017 13:23:15	18/04/2017 13:30:22	427	0	210	ABB111	
83	15	18/04/2017 13:30:22	18/04/2017 13:43:03	761	0	210	ABB111	
84	15	18/04/2017 13:43:06	18/04/2017 13:59:35	989	0	210	ABB111	
85	15	18/04/2017 14:04:24	18/04/2017 14:11:23	419	0	210	ABB111	
86	15	18/04/2017 14:11:23	18/04/2017 14:18:10	407	0	210	ABB111	
87	15	18/04/2017 14:18:11	18/04/2017 14:33:07	896	0	280	ABB111	
88	15	18/04/2017 14:33:07	18/04/2017 14:46:36	809	0	280	ABB111	
89	15	18/04/2017 15:16:49	18/04/2017 15:29:56	787	0	245	ABB111	
90	15	18/04/2017 15:29:56	18/04/2017 15:35:04	308	0	245	ABB111	
91	15	18/04/2017 15:40:07	18/04/2017 15:46:28	381	0	280	ABB111	
92	15	18/04/2017 15:52:56	18/04/2017 16:03:21	625	0	280	ABB111	
93	15	18/04/2017 16:09:42	18/04/2017 16:26:13	991	0	420	ABB111	
94	15	18/04/2017 16:26:13	18/04/2017 16:36:51	638	0	280	ABB111	
95	15	18/04/2017 16:36:51	18/04/2017 16:44:28	457	0	280	ABB111	
96	15	18/04/2017 16:48:53	18/04/2017 17:40:49	3116	0	980	ABB111	
97	15	18/04/2017 17:40:49	18/04/2017 17:53:49	780	0	350	ABB111	

Tabla 17. Base de datos: Producción de la línea de corte

En esta tabla viene representada los volúmenes de producción. Podemos ver el tiempo que se ha estado utilizando para la fabricación (PROD\_TIME) y cuantas chapas magnéticas se han cortado en dicho periodo (PIECE\_CNT). El orden de la secuencia de producción viene definida por el apartado PROD\_ID, de manera que tendremos que fijarnos en esta columna para llevar un orden estricto. En la columna PROGNAME, veremos a que cliente van dirigidos nuestros núcleos.

Para el cálculo del OEE, este apartado de la base de datos repercute directamente en el apartado de calidad, donde tendremos que tener en cuenta todas las piezas cortadas en dicho periodo que queramos analizar. Por otro lado también debemos contabilizar las piezas que estén defectuosas o aquellas que no cumplan las calidades estipuladas. Generalmente para este proceso de corte, las no calidades suelen ser ínfimas e incluso nulas durante un periodo de tiempo prolongado.



## Anexo A.3- Estados de la línea de corte: MachState

MachState								
STATE_ID	SCHICHT_ID	STATE_START	STATE_ENDE	STATE_TIME	STATE_NR	ORDER_ID	SPEED	
1	1	11/04/2017 8:25:44	11/04/2017 8:38:43	779	0	0	0	
2	2	11/04/2017 8:41:15	11/04/2017 8:41:19	4	0	0	0	
3	2	11/04/2017 8:41:19	0:00:00	0	1	0	0	
4	2	11/04/2017 8:58:05	11/04/2017 8:58:09	4	1	0	0	
5	2	11/04/2017 8:58:09	0:00:00	0	1	0	0	
6	3	11/04/2017 12:04:03	11/04/2017 12:04:07	4	0	0	0	
7	3	11/04/2017 12:04:07	11/04/2017 14:49:51	9944	1	0	0	
8	3	11/04/2017 14:49:51	11/04/2017 15:53:50	3839	2	0	0	
9	3	11/04/2017 15:53:50	11/04/2017 15:53:54	4	5	0	0	
10	3	11/04/2017 15:53:54	11/04/2017 15:54:03	9	3	0	100	
11	3	11/04/2017 15:53:56	11/04/2017 15:54:05	9	6	0	68	
12	3	11/04/2017 15:54:03	11/04/2017 15:55:25	82	5	0	0	
13	3	11/04/2017 15:55:25	11/04/2017 15:55:33	8	3	0	100	
14	3	11/04/2017 15:55:27	11/04/2017 15:55:35	8	6	0	68	
15	3	11/04/2017 15:55:33	11/04/2017 15:57:20	107	5	0	0	
16	3	11/04/2017 15:57:20	11/04/2017 15:57:22	2	3	0	100	
17	3	11/04/2017 15:57:22	11/04/2017 15:57:24	2	6	0	68	
18	3	11/04/2017 15:57:22	11/04/2017 15:58:04	42	2	0	0	
19	3	11/04/2017 15:58:04	11/04/2017 15:58:12	8	5	0	0	

Tabla 18. Base de datos: Estados de la línea de corte

En este último apartado podremos ver con gran detalle, el estado en el que esta la maquina (STATE\_NR) y el tiempo que ha estado en dicho estado (STATE\_TIME). Dentro de los diferentes estados, podemos distinguir 6 tipos:

- 1=Control Voltage OFF\r\n [min]
- 2=Manual mode \r\n [min]
- 3=Automatic Start\r\n [min]
- 4=Automatic Rapid Stop \r\n [min]
- 5=Automatic Auto Stop \r\n [min]
- 6=Automatic Start with Speed Reduction \r\n [min]

### 1. Control Voltage OFF\r\n [min]

Nos encontramos con el estado 1, cuando la maquina está apagada, ya sea por paro en la producción, mantenimiento, prevención o cualquier tipo de incidencia. Este tipo de información que queda fuera del alcance de la base de datos. Viene reportado paralelamente en un informe donde podremos ver el motivo de la parada de línea de corte.

Para el cálculo del OEE, este tipo de estado repercute directamente en el apartado de disponibilidad, donde su cálculo es aparentemente sencillo.

**Puesta a Punto y Ajustes**

-Algunos ejemplos son: puesta a punto/ cambio de máquinas, cambio de utilajes, falta de materiales, falta de operarios, paro por falta de trabajo, ajustes mayores, etc.

-Esta pérdida es normalmente tratada con técnicas de reducción de tiempo de aislamiento (Ej. SMED- Single Minute Exchange Dies)

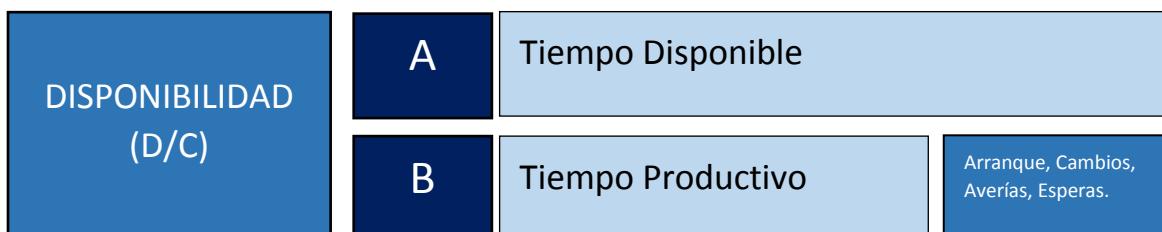
## 2. Manual mode \r\n [min]

En el estado 2, nos encontramos con una parada manual por puesta a punto, falta de materiales, falta de operarios, ajustes mayores, tiempo de calentamiento o cualquier circunstancia pertinente que requiera una parada de la máquina. Al igual que en el estado anterior, para el cálculo del OEE este tipo de estado también repercute directamente en el apartado de disponibilidad.

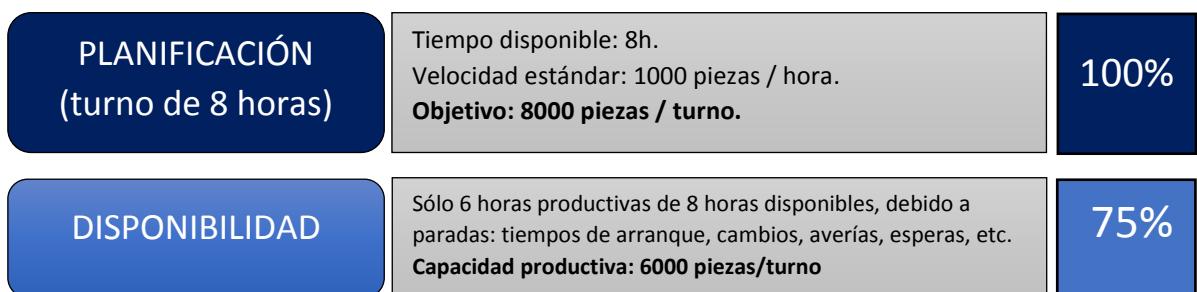
### Averías

-Algunos ejemplos son: fallo de utilajes, mantenimientos no planificados, avería general de equipos, fallos de equipos.  
-Hay flexibilidad en donde fijar el umbral entre una avería y una pequeña parada.

De esta manera sumando los 'STATE\_TIME' tanto del 'STATE\_NR' que sean igual a 1 y 2, obtendremos los tiempo en los cuales la maquina no está disponible, pudiendo calcular así la Disponibilidad % del proceso de corte transversal.



Ejemplo simplificado:



## 3. Automatic Start \r\n [min]

En el estado 3, vemos el tiempo que realmente la máquina está funcionando al 100% de velocidad. Sumando todos los 'STATE\_NR=3' obtendremos el tiempo neto de funcionamiento trabajando al 100% de su capacidad, con el cual junto con las micro-paradas y reducción de velocidades podremos calcular en el Rendimiento % de la línea de corte.

#### 4. Automatic Rapid Stop \r\n [min]

En este estado, vamos a poder ver el tiempo que la máquina ha estado parada por 'rapid stop'. Este tipo de parada se produce cuando por ejemplo se detecta algún tipo de intrusión en la zona de seguridad. Alrededor de las zonas más peligrosas para los operarios encontramos unas zonas críticas las cuales están protegidas por sensores, de manera que activándolos entraríamos en una parada instantánea. Otra causa de 'rapid stop' sería un ataque del rollo de chapa magnética en la zona de corte ya sea por desviación de la correa o por un defecto de calidad en el rollo.

#### 5. Automatic Auto Stop \r\n [min]

En el estado 5, al igual que el estado 4 podremos ver el tiempo que la máquina ha estado parada por 'Auto Stop'. Este tipo de parada se diferencia de la anterior por el grado de peligrosidad. En el anterior cuando detectaba algún tipo de las anomalías predefinida esta paraba instantáneamente, pero en este estado 5, la máquina se detiene una vez que haya terminado de cortar la secuencia chapas definidas. Las causas más frecuentes de una parada 'Automatic stop' suelen ser: Fallo en el apilado y falta de rollo de chapa magnética.

### Micro-paradas

-Ejemplos: Obstrucción del flujo de productos, atascos de componentes, alimentaciones incorrectas, sensor bloqueado, entrega bloqueada, activación de sensores y fallo en el apilado.  
-Típicamente se incluyen las paradas de menos de cinco minutos y que no requieren la intervención del personal de mantenimiento.

#### 6. Automatic Start with Speed Reduction \r\n [min]

En este último estado, al igual que en el estado 3, veremos el tiempo neto que la máquina está funcionando pero con una reducción de velocidad que vendrá definida en la columna 'SPEED'.

Como hemos comentado antes, estos estados 3, 4, 5 Y 6 afectarían directamente al OEE, en el apartado de Rendimiento %.



## Anexo B.- Informe diario de producción

Fichero creado:

Tabla 19. Informe diario de producción

A partir de este fichero rellenado a mano por los operarios lo hemos transformado posteriormente en una base de datos de la siguiente forma:

Anchura (mm)	M5	Laser	30H102	Average Sheet	Distancia entre	Bancada 1	Bancada 2	Nº Piezas	Velocidad	% Max.Capacidad	Nº Piezas	Stacker 1	Stacker 2	Stacker 3	Stacker 4	Stacker 5	TOTAL
140	1	0	0	1329	600	0	1	245	57	90	0	1	0	0	0	0	1
140	1	0	0	1329	600	0	1	245	57	90	0	0	0	0	0	0	0
150	1	0	0	1083	600	0	1	420	43	60	0	0	0	0	2	1	3
170	1	0	0	977	500	0	1	525	42	52	0	2	0	0	0	0	2
170	1	0	0	977	500	0	1	525	41	48	0	0	0	0	0	0	0
170	1	0	0	1148	600	0	1	350	47	48	0	0	0	0	0	0	0
170	1	0	0	1148	600	0	1	350	47	48	0	0	0	0	0	0	0
180	1	0	0	1083	600	0	1	1435	54	48	0	0	0	0	1	0	1
200	1	0	0	977	500	0	1	1085	53	48	0	0	0	0	0	0	1
200	1	0	0	977	500	0	1	1085	53	48	0	0	0	0	0	0	0
200	1	0	0	1329	600	0	1	385	41	60	0	0	0	0	0	1	1
200	1	0	0	1329	600	0	1	385	41	60	0	0	0	1	0	2	3
220	1	0	0	1329	600	0	1	1190	41	60	0	0	0	0	0	0	0
220	1	0	0	1329	600	0	1	1190	41	60	0	0	0	0	0	0	0
200	1	0	0	1329	600	0	1	385	52	60	0	1	0	0	0	0	1
200	1	0	0	1329	600	0	1	385	52	60	0	0	1	0	0	0	2
170	1	0	0	977	500	0	1	525	41	40	0	0	0	0	0	0	0
170	1	0	0	977	500	0	1	525	40	40	0	0	0	0	2	0	2
170	1	0	0	1329	600	0	1	350	52	60	0	0	0	1	0	1	2
170	1	0	0	1329	600	0	1	350	52	60	0	0	0	0	0	0	0
150	1	0	0	1083	600	0	1	420	50	42	0	0	0	0	2	0	2
140	1	0	0	977	500	0	1	280	40	42	0	0	0	0	0	0	0
140	1	0	0	977	500	0	1	280	40	42	0	0	0	0	0	0	0
140	1	0	0	1329	600	0	1	245	52	60	0	0	0	0	0	0	0
140	1	0	0	1329	600	0	1	245	52	60	0	0	0	0	0	0	0
100	1	0	0	1083	600	0	1	350	48	40	0	0	0	0	0	0	0
100	1	0	0	977	500	0	1	245	41	40	0	0	0	0	0	0	0
200	0	1	0	1319	700	0	1	525	57	100	0	0	0	0	0	0	0
200	0	1	0	1567	700	0	1	315	41	100	0	0	0	0	0	0	0
210	0	1	0	1286	600	0	1	595	57	100	0	0	0	1	0	0	1
230	0	1	0	1319	700	0	1	1715	57	100	0	0	0	0	1	0	1
230	0	1	0	1567	700	0	1	455	41	100	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 20. Base de datos para la trazabilidad del tipo de chapa

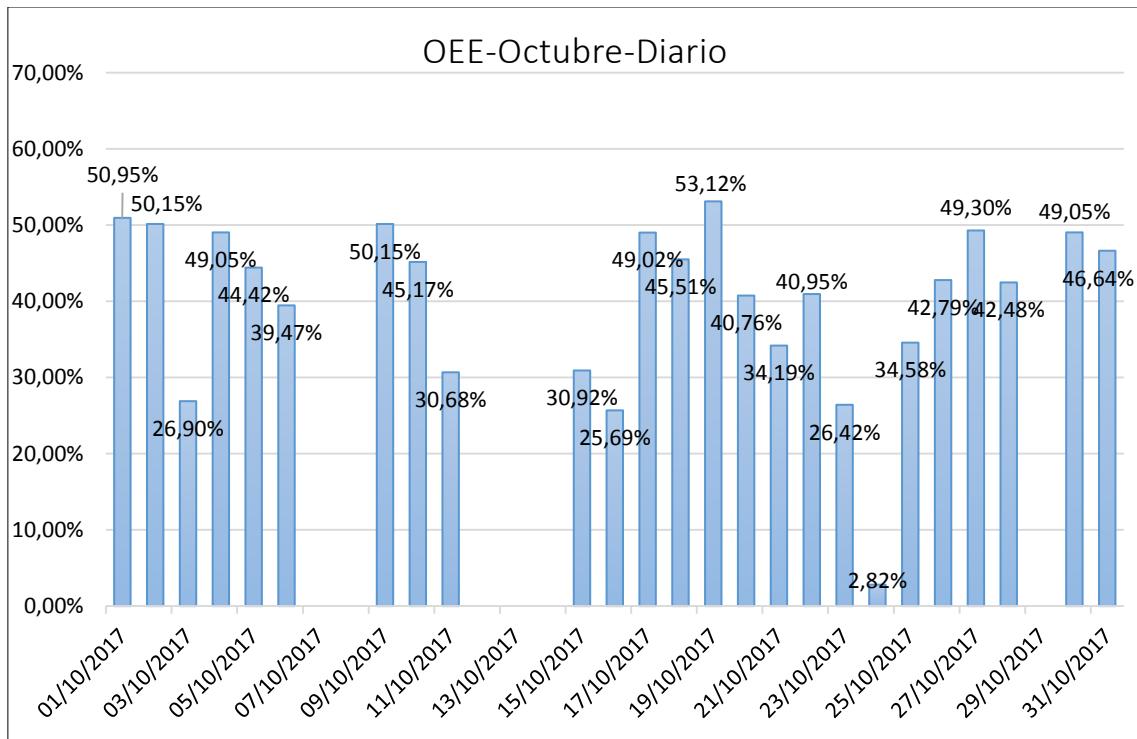
## Anexo C.- Análisis de Octubre

Para el mes de octubre, el OEE y su distribución de fallos según rendimiento y disponibilidad ha sido la siguiente:

OEE - OCTUBRE				
PLANIFICACIÓN	Tiempo de Producción Planificado			
DISPONIBILIDAD 56,85%	A	171,00	Tiempo Disponible [h]	
	B	97,22	Tiempo Productivo [h]	56,85%
RENDIMIENTO 74,31%	C	97,22	Capacidad Productiva [h]	
	D	72,24	Producción Real [h]	74,31%
CALIDAD 99,99%	E	199289	Producción Real	
	F	199274	Piezas Buenas	99,99%
OEE 42,24%	42,24%			
AMORTIZACIÓN 81,72%	H	209,25	Calendario Laboral [h]	
	A	171,00	Tiempo Disponible [h]	81,72%
Distribución de Perdidas en el Rendimiento	C - D	24,98	Perdida Total [h]	
	I	1,89	Reducción de velocidad [h]	7,55%
	J	0,77	Fallo de Apilado Stacker 1 [h]	3,08%
	K	1,77	Fallo de Apilado Stacker 2 [h]	7,09%
	L	0,73	Fallo de Apilado Stacker 3 [h]	2,92%
	M	0,94	Fallo de Apilado Stacker 4 [h]	3,76%
	N	1,02	Fallo de Apilado Stacker 5 [h]	4,08%
	O	15,24	Feed Roll Opened [h]	61,01%
	P	2,62	Perdidas Ocultas en Rendimiento [h]	10,49%
	J:N	5,23	Fallo Total en Apilado [h]	20,94%
	A - B	73,78	Perdida Total [h]	
	J	0,00	Mantenimiento no Programado.Quant [h]	0,00%
	K	0,00	Cambio de herramientas.Quant [h]	0,00%
Distribución de Perdidas en la Disponibilidad	Q	6,16	Averías.ABB [h]	8,35%
	R	0,00	Cambio de punteros por Rebaba [h]	0,00%
	S	2,06	Espera Entrega de Materiales [h]	2,79%
	T	3,30	Espera Retirada de Materiales [h]	4,47%
	U	1,19	Formación / Información / Consultas [h]	1,61%
	V	0,00	Inventario [h]	0,00%
	W	0,00	Movimientos no incluidos en el proceso [h]	0,00%
	X	5,49	Parada por falta de trabajo Asignado [h]	7,44%
	Y	1,02	Servicio Médico [h]	1,38%
	Z	0,00	TPM [h]	0,00%
	AA	0,00	Trabajos Opex [h]	0,00%
	AB	1,12	Trabajos encargados por Producción [h]	1,52%
	AC	0,00	Trabajos no incluidos en el proceso [h]	0,00%
	L	53,44	Perdidas Ocultas en Disponibilidad [h]	72,43%

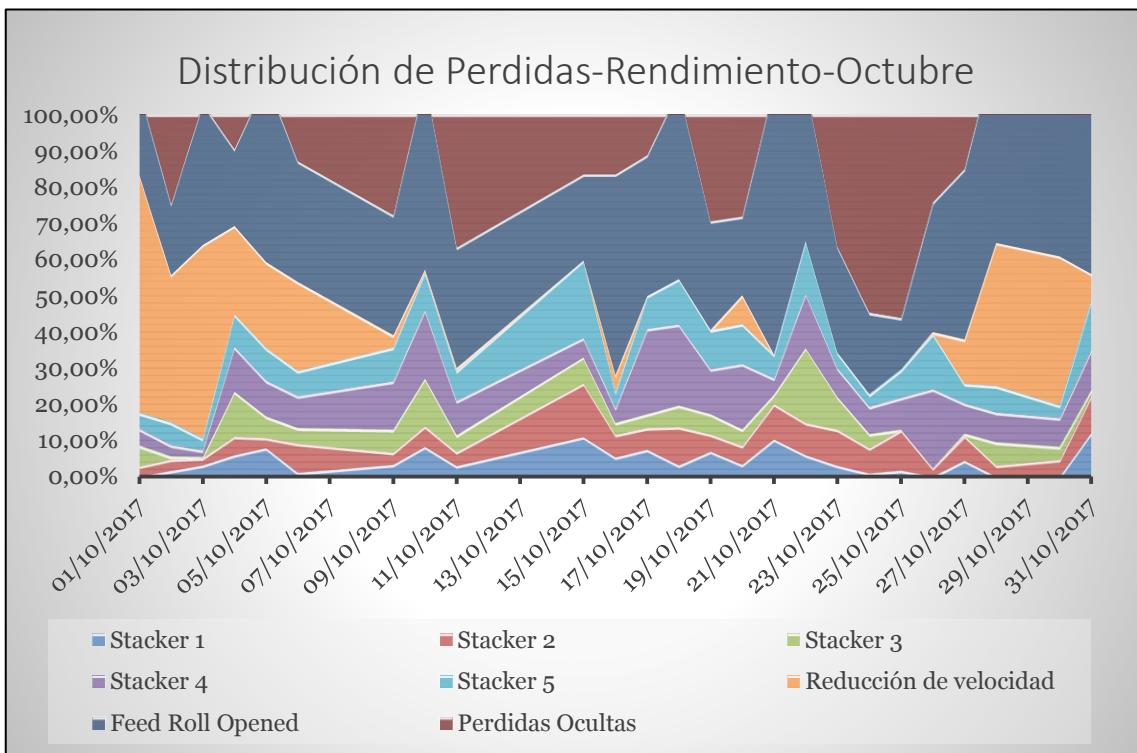
Tabla 21. OEE y distribución de fallos - Octubre

Haciendo un estudio del OEE en un intervalos diario es el siguiente:



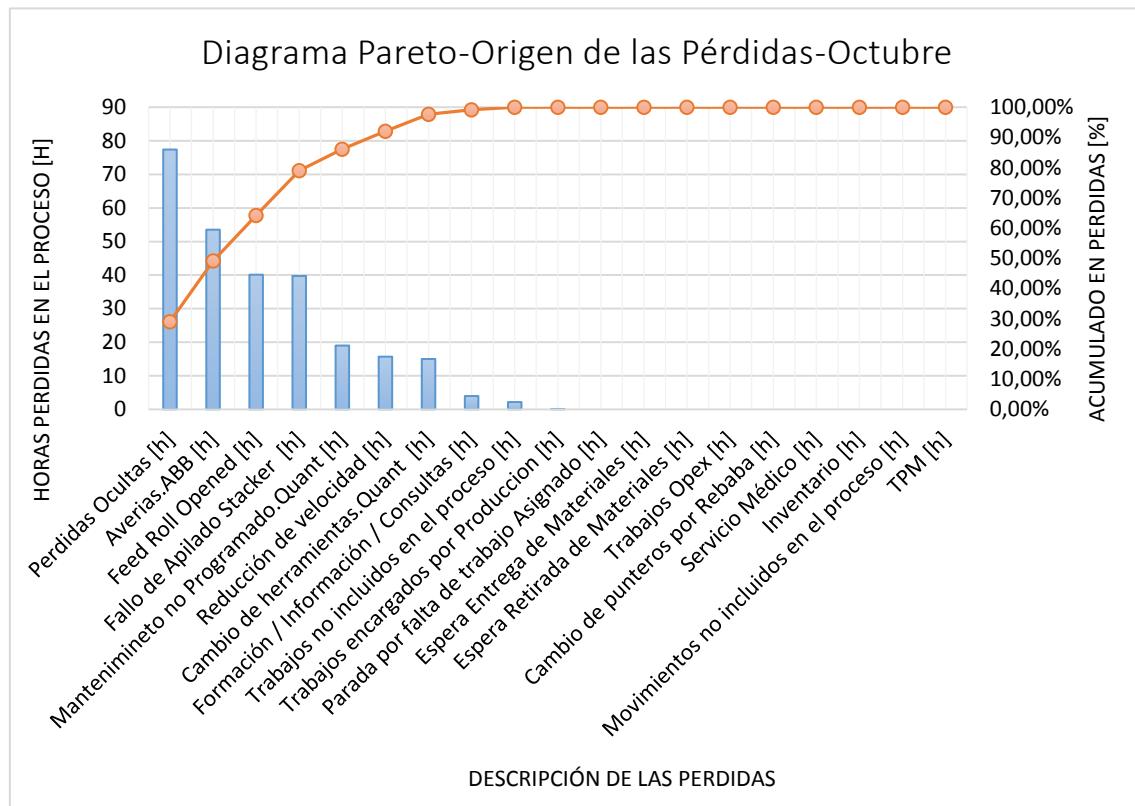
Gráfica 8. OEE Diario Octubre

Agrupando las perdidas presentes en el proceso productivo y representándolas en un intervalo diario, tenemos lo siguiente:



Gráfica 9. Distribución de Pérdidas Octubre

Para tener una idea global de cuáles han sido durante el mes de octubre las pérdidas más significativas, hemos representado dichas perdidas en un diagrama Pareto.



Gráfica 10. Diagrama Pareto Octubre

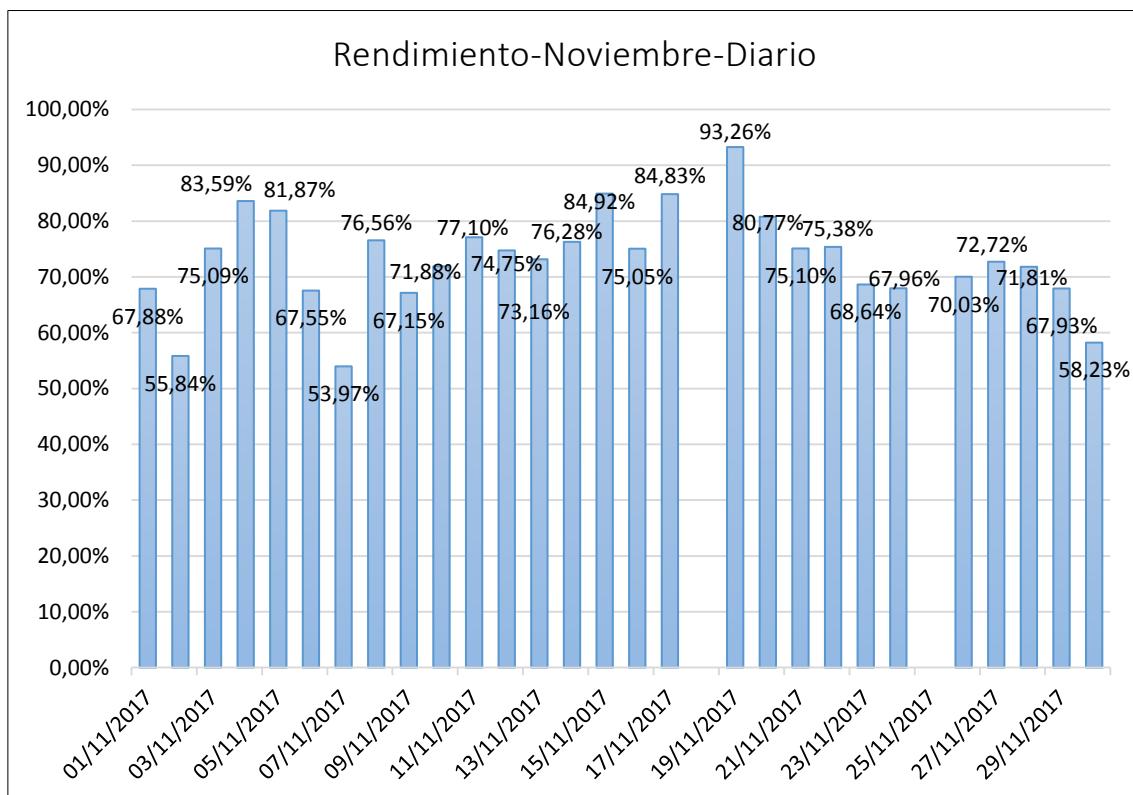
## Anexo D.- Análisis de Noviembre

Para el mes de Noviembre, el OEE y su distribución de fallos según rendimiento y disponibilidad ha sido la siguiente:

OEE-Noviembre				
PLANIFICACIÓN	Tiempo de Producción Planificado			
DISPONIBILIDAD 70,89%	A	470,30	Tiempo Disponible [h]	
	B	333,39	Tiempo Productivo [h]	70,89%
RENDIMIENTO 71,81%	C	333,39	Capacidad Productiva [h]	
	D	239,42	Producción Real [h]	71,81%
CALIDAD 100,00%	E	608010	Producción Real	
	F	607995	Piezas Buenas	100,00%
OEE 50,91%	50,91%			
AMORTIZACIÓN 96,32%	H	488,25	Calendario Laboral [h]	
Distribución de Perdidas en el Rendimiento	A	470,30	Tiempo Disponible [h]	96,32%
	C - D	93,97	Perdida Total [h]	
	I	17,87	Reducción de velocidad [h]	19,01%
	J	7,91	Fallo de Apilado Stacker 1 [h]	8,42%
	K	7,76	Fallo de Apilado Stacker 2 [h]	8,26%
	L	2,46	Fallo de Apilado Stacker 3 [h]	2,62%
	M	5,11	Fallo de Apilado Stacker 4 [h]	5,44%
	N	5,15	Fallo de Apilado Stacker 5 [h]	5,48%
	O	41,91	Feed Roll Opened [h]	44,60%
	P	5,81	Perdidas Ocultas en Rendimiento [h]	6,18%
	J:N	28,39	Fallo Total en Apilado [h]	30,21%
	A - B	136,91	Perdida Total [h]	
	J	6,30	Mantenimiento no Programado.Quant [h]	4,60%
	K	3,00	Cambio de herramientas.Quant [h]	2,19%
Distribución de Perdidas en la Disponibilidad	Q	46,10	Averías.ABB [h]	33,67%
	R	0,00	Cambio de punteros por Rebaba [h]	0,00%
	S	0,00	Espera Entrega de Materiales [h]	0,00%
	T	5,47	Espera Retirada de Materiales [h]	4,00%
	U	2,36	Formación / Información / Consultas [h]	1,72%
	V	0,00	Inventory [h]	0,00%
	W	0,01	Movimientos no incluidos en el proceso [h]	0,01%
	X	0,00	Parada por falta de trabajo Asignado [h]	0,00%
	Y	0,00	Servicio Médico [h]	0,00%
	Z	6,00	TPM [h]	4,38%
	AA	5,06	Trabajos Opex [h]	3,70%
	AB	0,00	Trabajos encargados por Producción [h]	0,00%
	AC	4,63	Trabajos no incluidos en el proceso [h]	3,38%
	L	57,98	Perdidas Ocultas en Disponibilidad [h]	42,35%

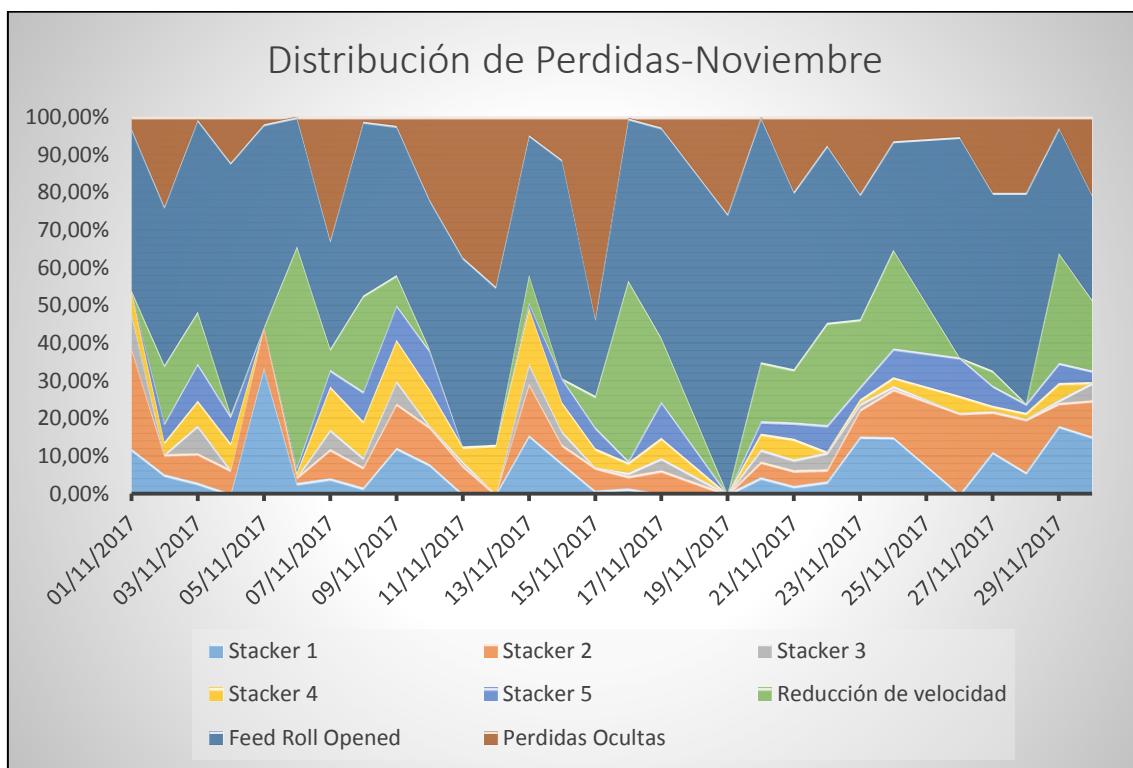
Tabla 22. OEE y distribución de fallos - Noviembre

Haciendo un estudio del OEE en un inérvulos diario es el siguiente:



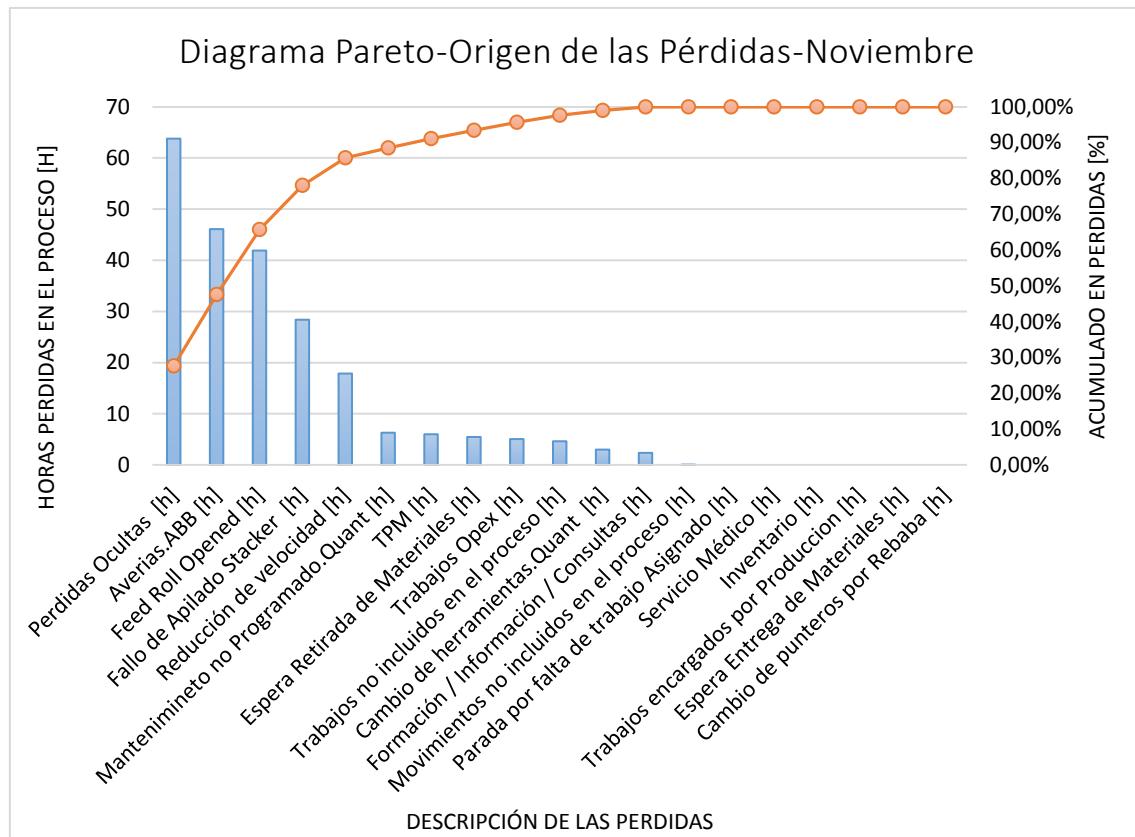
Gráfica 11. OEE Diario Noviembre

Análogamente al mes de Octubre, agrupando las perdidas presentes en el proceso productivo y representándolas en un intervalo diario, tenemos lo siguiente



Gráfica 12. Distribución de pérdidas Noviembre

Para tener una idea global de cuales han sido durante el mes de octubre las pérdidas más significativas, hemos representado dichas perdidas en un diagrama Pareto



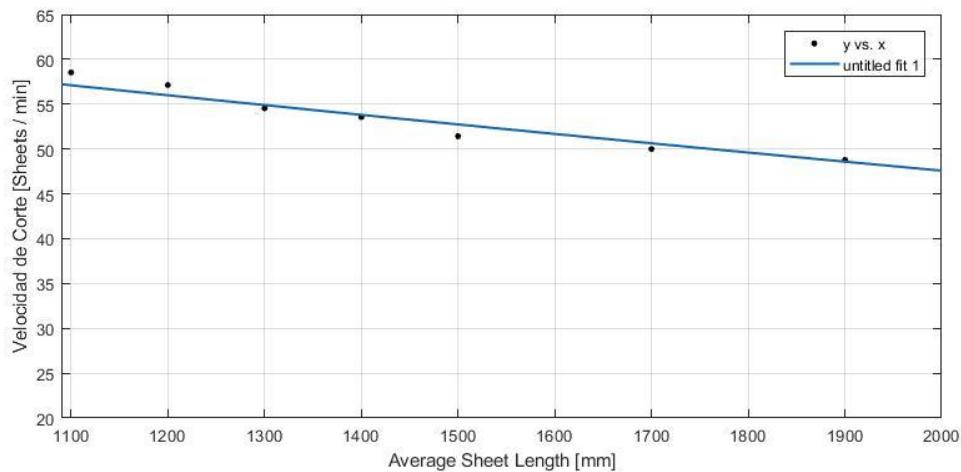
Gráfica 13. Diagrama Pareto Noviembre

## ANEXO E: Curvas de rendimiento

Haciendo referencia a la ‘ilustración 9: Benchmarking Curva de Rendimientos’ vamos a desglosar la graficas que lo componen:

### Anexo E.1.- Curva de rendimiento teórica

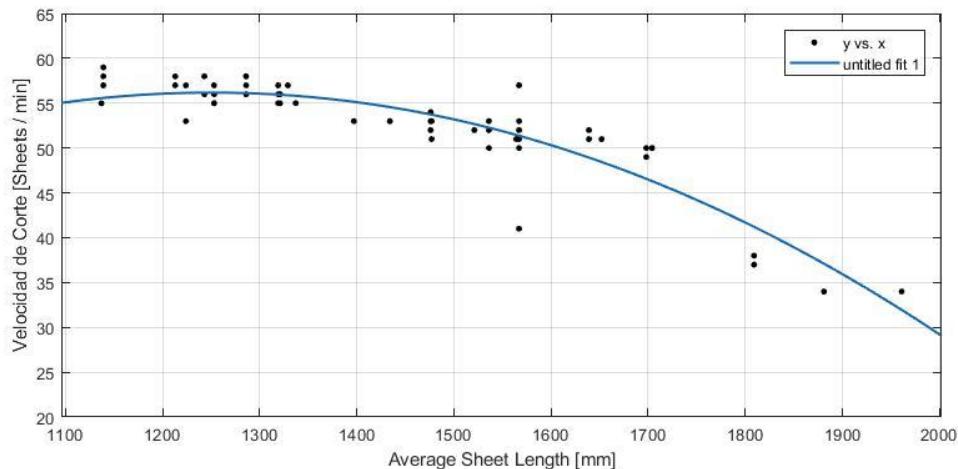
Curva de trabajo teórica según las especificaciones del fabricante:



Gráfica 14. Curva de trabajo teórica

### Anexo E.2.- Curva de rendimiento real al 100% de la capacidad

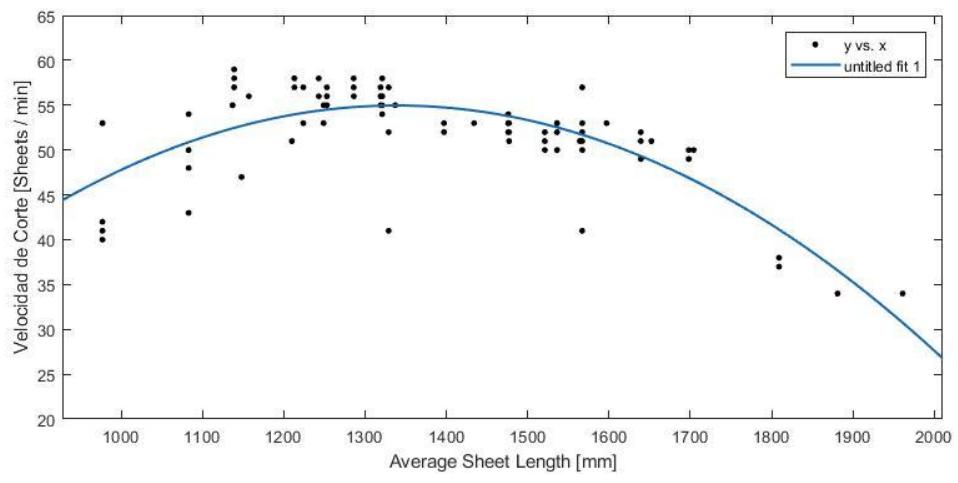
Curva de trabajo real, trabajando al 100% de la capacidad:



Gráfica 15. Curva de trabajo real al 100% de la capacidad

## Anexo E.3.- Curva de rendimiento real

Curva de trabajo real:



Gráfica 16. Curva de trabajo real

## ANEXO F: Explicación física del fallo mecánico

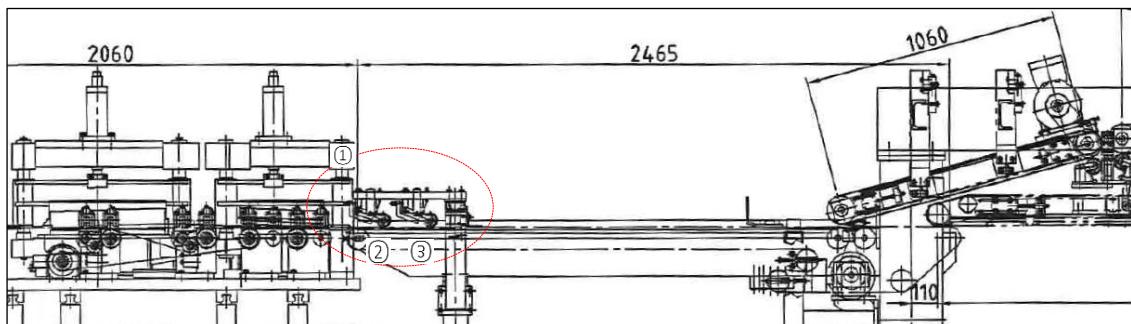
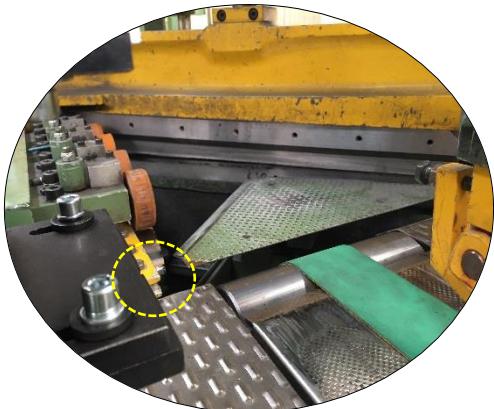


Figura 24. Shearing unit & Run out conveyor



1. Una vez que la bobina madre de chapa comienza a desenrollarse, se deliza a lo largo de las guías mediante unas ruedas de arrastre que la empujan hasta la entrada de la cinta transportadora. Durante esta primera etapa, la chapa ha sido cortada y agujereada según las formas pre-establecidas, gracias a las troqueladoras y punzonadoras.



2. A la salida del cizallamiento, nos encontramos con las ruedas de arrastre que hacen llegar a la pieza cortada al inicio de la cinta de arrastre. El problema reside en que justo al inicio de la cinta transportadora, el guiado (amarillo) termina dejando así que las fuerzas de las ruedas de arrastre al no estar centradas con el centro de masas de la chapa creen un momento angular que provoque dicha desviación a la hora de entrar a la cinta transportadora.



3. Una vez que la pieza se dispone a entrar en la cinta, la pieza es recogida a través de la cinta transportadora correctamente alineada teóricamente con su centro de masas pero que ya previamente ha sido desviada de manera que esta desviación permanecerá latente durante todo el proceso de traslación y apilado, provocando el fallo en el apilado.

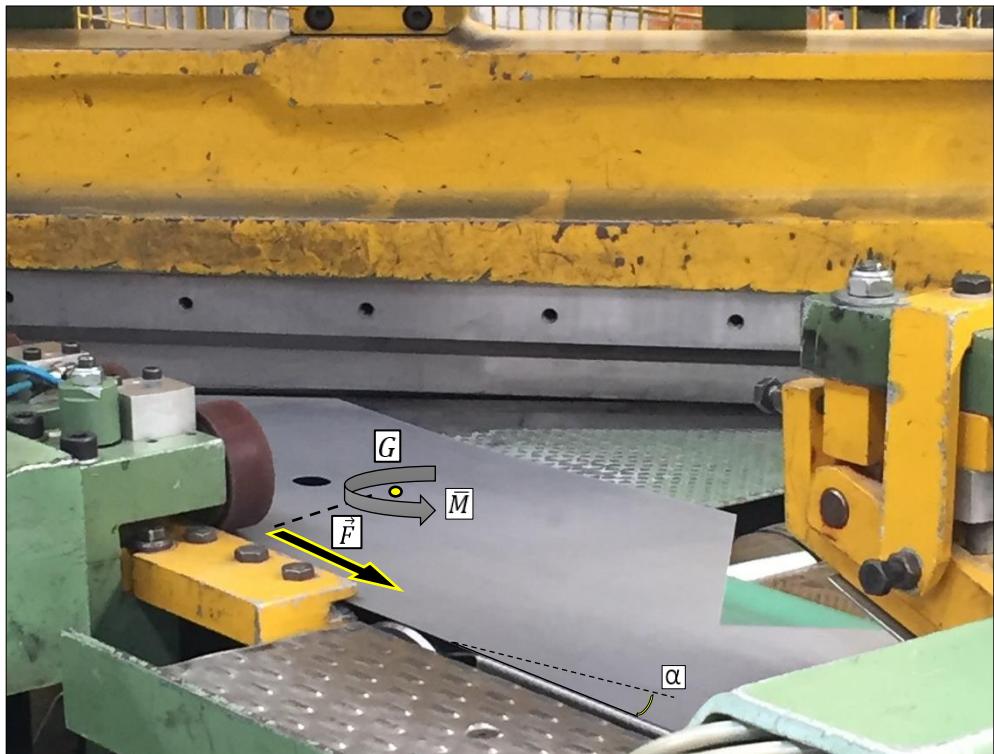


Figura 25. Esquema de Fuerzas – Entrada Cinta Transportadora

Como hemos podido ver en el análisis de datos, cuando cortábamos a velocidades elevadas, es decir piezas de menor longitud, estas fallaban en una proporción mayor. La explicación física de esto, reside en el valor de la masa de la pieza que cortamos.

La velocidad de corte varía simplemente por el hecho de la longitud de la pieza, ya que las fuerzas de arrastre son siempre las mismas y son constantes. Dicho esto, cuando exponemos a estas mismas fuerzas piezas de masa menor, esta desviación se ve más acentuada ya que la masa que se tiende a desviar es mucho menor, provocando así el fallo en el apilado.



Figura 26. Proceso de Apilado

#### ANEXO G: Datos utilizados para la trazabilidad del OEE

La existencia de una base de datos con todos los mensajes de error y su estado en la línea de corte ha hecho más fácil lanzarnos con este proyecto ya que el hardware ya estaba implantado, abaratando en gran medida la inversión inicial.

La disposición de la instalación para el dispositivo de visualización de datos será el siguiente.

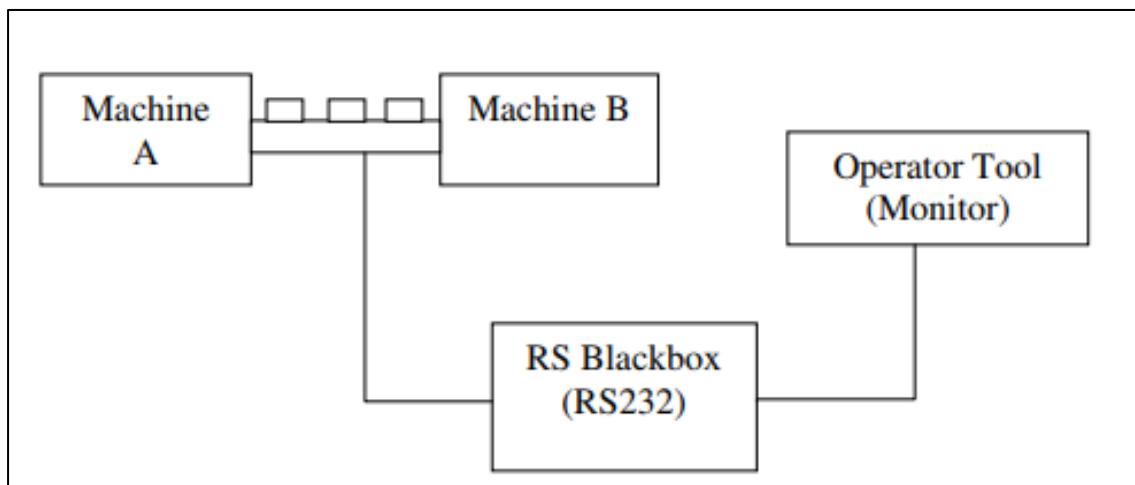


Figura 27. Installation layouts

Los datos utilizados vienen como combinación de los mensajes de texto de Data Georg y los estados definidos también en Data Georg (Anexo A).

STATES	MESSAGES
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 1=Control Voltage OFF\r\n [min]</li><li>➤ 2=Manual mode \r\n [min]</li><li>➤ 3=Automatic Start\r\n [min]</li><li>➤ 4=Automatic Rapid Stop \r\n [min]</li><li>➤ 5=Automatic Auto Stop \r\n [min]</li><li>➤ 6=Automatic Start with Speed Reduction \r\n [min]</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 1.wrong "number of tools"</li><li>➤ 2.parameters not valid</li><li>➤ 3.Tool not in closed loop</li><li>➤ ...</li><li>➤ 377.hardware limit stacking car 5.1</li><li>➤ 378.hardware limit stacking car 5.2</li><li>➤ 379.stacking pin(s) not properly inserted</li></ul>

Figura 28. Estados de la línea de corte

Figura 29. Mensajes de error en la línea de corte

