



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Rediseño al proceso de laminado del acero para aumentar la producción, incorporando un modelo predictivo de fallas para el mantenimiento del laminador en la acerera AZA

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE NEGOCIOS CON TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN

DANIEL ANTONIO BURGOS TAPIA

PROFESOR GUÍA:
SEBASTIÁN RÍOS PÉREZ

MIEMBROS DE LA COMISION:
PABLO LEMUS HENRÍQUEZ
FABIÁN GARCÍA TENORIO

SANTIAGO DE CHILE
2023

RESUMEN EJECUTIVO

Aza es una empresa acerera chilena que se funda en 1953. Esta empresa se dedica exclusivamente a la producción y elaboración de acero a partir del reciclaje de chatarra ferrosa. Es la principal empresa que fabrica acero sostenible con un modelo de negocio circular, mediante el cual se recolectan y reciclan más de 500 millones de kilogramos de chatarra al año, convirtiéndola, además, en la mayor recicladora del país y en la segunda productora de acero con una participación de mercado del 30%, entregando productos de barras, alambrones y perfiles de acero que son utilizados en construcción, industria y minería.

El objetivo estratégico de la empresa es aumentar su participación de mercado, ya que el acero producido en Chile no es suficiente para la demanda que existe, donde la chatarra no es un impedimento para aumentar la producción. Dentro de sus procesos productivos se encuentra el laminado del acero, el cual consiste en deformar las barras de acero fundido para obtener sus diferentes productos. Este proceso tiene interrupciones por fallas y mantenciones, los cuales detienen la producción, generando pérdidas cercanas a los 1000 \$MM. Actualmente las fallas son 90% correctivas y un 10% preventivas, mientras que las mantenciones son ejecutadas por ciertos intervalos de tiempo sin un estándar definido.

Para minimizar las pérdidas y aumentar la producción se pretende rediseñar el proceso de laminado del acero, centrando el foco de las mantenciones en la utilización de los datos, provenientes de distintos sensores del proceso de laminado del acero, para generar un modelo predictivo de fallas, el cual pueda indicar con anticipación algún evento que pueda ocurrir, disminuyendo las interrupciones en el proceso de laminado y hacer más eficientes las mantenciones preventivas. Se trabaja en disponibilizar apoyo tecnológico para la utilización de los datos, implementando un prototipo de sistema de gestión que utilizara modelos de machine learning con datos similares a los que se obtendrán una vez implementado el apoyo tecnológico.

Lo anterior disminuirá el tiempo de fallas al predecir la cantidad de eventos que pueden ocurrir en el laminador. Además, reducir el tiempo de las detenciones por mantención al realizarlas de forma eficientes y programadas, generando un aumento en el tiempo que tiene el laminador para producir sus productos.

En las simulaciones realizadas se lograron modelos predictivos que pueda predecir el 70% de las detenciones por fallas de tipo mecánicas. Con este porcentaje de predicción se espera generar 111 horas más de producción al año, lo que equivale a 5.900 toneladas de acero, reduciendo las pérdidas en 334.152 dólares.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes de la industria.....	1
1.2 Descripción general de la empresa.	1
1.2.1 Visión	2
1.2.2 Misión.....	2
1.2.3 Cultura Organizacional.....	2
1.2.4 Organigrama	2
1.2.5 Cadena de Valor	2
1.2.6 Plan de inversión y crecimiento.....	3
1.3 Descripción general del proceso.....	4
1.3.1 Tren Devastador	4
1.3.2 Tren Medio	4
1.3.3 Mono Block	4
1.3.4 Formador de Espiras.....	4
1.3.5 Parrilla	5
1.3.6 Cizallas.....	5
1.3.7 Caja de Agua	5
1.3.8 Tempcore	5
1.4 Acerca del problema y su justificación.....	5
1.5 Objetivos y Resultados del Proyecto Aplicado.....	6
1.5.1 Objetivo General	6
1.5.2 Objetivos Específicos.....	7
1.5.3 Resultados Esperados	7
1.6 Alcance.....	8
1.7 Riesgos Potenciales	8
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	10
2.1 Metodología de Ingeniería de Negocios.	10
2.1.1 Planteamiento Estratégico	10
2.1.2 Definición Modelo de Negocios.....	10
2.1.3 Diseño Arquitectura Empresaria	11
2.1.4 Diseño Detallado de Procesos	11
2.1.5 Diseño Aplicación Apoyo.....	11
2.1.6 Construcción e Implementación	11
2.2 Revisión Literaria.....	11

2.2.1	Patrones de Procesos de Negocios	11
2.2.2	Value-Driven Business Process Management.	12
2.2.3	Cross Industry Standard Process for Data Mining.	13
2.2.4	Lean Manufacturing.	14
2.2.5	Business Process Model and Notation.....	14
2.2.6	Modelos de machine learning	15
CAPITULO 3. PLANTEAMIENTO ESTRATÉGICO Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL		17
3.1	Posicionamiento Estratégico.....	17
3.2	Definición del Negocio.	17
3.2.1	Proveedores.....	17
3.2.2	Clientes	18
3.2.3	Insumos.....	18
3.2.4	Productos	18
3.3	Diagnóstico de la Situación Actual.....	19
3.3.1	Problema y oportunidades de mejora	19
3.3.2	Arquitectura de Procesos AS IS.....	20
3.3.3	Modelamiento Detallado de Procesos AS IS.....	22
3.4	Cuantificación del problema.....	24
CAPITULO 4. PROPUESTA DE DISEÑO DE PROCESOS.....		27
4.1	Direcciones de Cambio y Alcance	27
4.2	Propuesta de solución	28
4.3	Arquitectura de procesos TO BE	28
4.4	Modelamiento detallado de procesos TO BE.....	29
4.5	Diseño de Lógica de Negocios	31
4.5.1	Análisis de datos	32
4.5.2	Preparación de datos	33
4.5.3	Modelado de datos.....	34
4.6	Resultados obtenidos	36
CAPITULO 5. PROPUESTA DE APOYO TECNOLÓGICO		39
5.1	Arquitectura Tecnológica	39
5.2	Prototipo Funcional Desarrollado.....	40
CAPITULO 6. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN		44
6.1	Contexto organizacional actual y necesidad de cambio	44
6.2	Liderazgo y gestión del proyecto de cambio.....	45
6.3	Cambio y conservación	45

6.4	Prácticas para el cambio	46
6.4.1	Visualización de datos de sensores	46
6.4.2	Revisión de indicadores de sensores de primer nivel	46
6.4.3	Revisión de indicadores de sensores de segundo nivel.....	47
6.4.4	Revisión de indicadores de sensores de tercer nivel	47
6.5	Evaluación y cierre	47
CAPITULO 7. EVALUACIÓN DEL PROYECTO		49
7.1	Evaluación Técnica.....	49
7.2	Evaluación Económica	49
7.2.1	Definición de Beneficios	49
7.2.2	Definición de costos	50
7.2.3	Análisis costo beneficio	51
CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS		52
8.1	Conclusiones del proyecto.....	52
8.2	Recomendaciones para trabajos futuros	53
CAPITULO 9. BIBLIOGRAFÍA.....		54

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura organizacional Laminación Colina AZA	2
Figura 2. Esquema del proceso de fabricación del acero en AZA	3
Figura 3. Esquema de Metodología de Ingeniería de Negocios	10
Figura 4. Arquitectura de Macroprocesos	12
Figura 5. Ciclo de Vida CRISP-DM	13
Figura 6. Ejemplo de un proceso en notación BPMN	14
Figura 7. Modelo Delta Hax AZA	17
Figura 8. Análisis de problema a través de la estrategia y driver de negocios.	20
Figura 9. Macro 1 Nivel 1 “Cadena de valor”	21
Figura 10. Macro 1 Nivel 2 “Gestión de producción y entrega”	21
Figura 11. Macro 1 Nivel 3 “Planificación y control de producción”	22
Figura 12. Modelo BPMN - Laminación	23
Figura 13. Modelo BPMN - Producción de barras y rollos.	24
Figura 14. Tabla de detenciones por disciplina en el año 2020.	25
Figura 15. Variables de dirección de cambio.	27
Figura 16. Lean journey – Desafío focal.	28
Figura 17. Modelo BPMN - Proceso a intervenir en Laminación.	29
Figura 18. Modelo BPMN - Subproceso Monitorear laminación.	30
Figura 19. Modelo BPMN – Análisis Predictivo Célula de Mantenimiento.	30
Figura 20. Detenciones por fallas al proceso de laminado.	32
Figura 21. Datos de sensores en software ibaAnalyzer.....	32
Figura 22. Esquema de datos de sensores y detenciones por fallas.....	33
Figura 23. Ejemplo de valores de datos de sensores y detenciones por fallas.....	33
Figura 24. Conjuntos de entrenamiento y pruebas.	35
Figura 25. Importancia de características del modelo XGBoost.	35
Figura 26. Matriz de confusión.....	36
Figura 27. Resultados de la evaluación por clase de componentes.	37
Figura 28. Curva de precisión-sensibilidad.	37
Figura 29. Arquitectura actual y propuesta para el proyecto.....	39
Figura 30. Estado de los sensores del prototipo.	40
Figura 31. Dashboard principal con estados de los sensores.....	41
Figura 32. Estado de un sensor del laminador.	41
Figura 33. Formulario de envío de información.	42
Figura 34. Configuración del formulario de envío de información.....	43
Figura 35. Actores y roles del cambio en el área de laminación.....	45
Figura 36. Lugar de visualización de indicadores en laminación Colina.	46
Figura 37. Distribución de horas de detención.....	50
Figura 38. Beneficio y costos del proyecto.	51

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes de la industria.

La siderurgia es la técnica del tratamiento del mineral de hierro para obtener distintos tipos de este o mezclas como el acero. Esta técnica tiene sus primeros orígenes con una data de hace 5000 años atrás, donde se han encontrado distintos elementos de hierro fundido en Asia Occidental. Desde esa fecha en adelante se ha utilizado el hierro y el acero para múltiples propósitos pasando por herramientas que ayudan en las tareas cotidianas hasta armas cortantes para la guerra.

El hierro para uso industrial fue descubierto entre el año 1500 y 1200 a.c., pero no fue hasta la edad media donde se comenzó a perfeccionar la técnica. Fue en 1950 cuando se creó el proceso de colada continua, proceso que sigue vigente en nuestros días, siendo utilizado para producir perfiles y barras laminadas de acero de forma constante y en grandes cantidades.

El acero se diferencia del hierro, por la cantidad de carbono que se encuentra en él, lo que provoca distintas temperaturas de fusión y distinta dureza en comparación con el hierro. Su uso en la actualidad va desde la construcción de maquinarias, herramientas, edificios y obras públicas, aportando al desarrollo tecnológico de nuestra sociedad.

La industria siderúrgica nacional cuenta con dos protagonistas, CAP y AZA, quienes son empresas fabriles que producen acero de dos formas distintas. CAP produce acero a partir del mineral de hierro, denominando a este tipo de empresas siderúrgicas integrales, mientras que AZA produce acero a partir de otro acero o hierro, denominando a este tipo de empresas acereras. La participación de mercado de AZA es de 30%, mientras que CAP tiene una participación de 45%, siendo el 25% restante importaciones desde países como México, Perú, Brasil, Turquía, entre otros.

1.2 Descripción general de la empresa.

Aza es una empresa acerera chilena que se funda en 1953. Aza se dedica exclusivamente a la producción y elaboración de acero a partir del reciclaje de chatarra ferrosa. Es la principal empresa que fabrica acero sostenible con un modelo de negocio circular, mediante el cual se recolectan y reciclan más de 500 millones de kilogramos de chatarra al año, convirtiéndola, además, en la mayor recicladora del país y en la segunda productora de acero con una participación de mercado del 30%, entregando productos de barras, alambrones y perfiles de acero que son utilizados en construcción, industria y minería.

1 Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/materiales/proceso-siderurgico>

2 Fuente: <https://www.aza.cl/quienes-somos/>

1.2.1 Visión

Ser referentes en los negocios en que actúa.

1.2.2 Misión

Generar valor a nuestros clientes, accionistas, colaboradores y a la sociedad, actuando en la industria del acero en forma sostenible.

1.2.3 Cultura Organizacional

En AZA se preocupan de cuidar el medio ambiente cuantificando y reduciendo los impactos ambientales de sus productos siendo ejemplo de sostenibilidad, conciencia medio ambiental y seguridad. Además, son pioneros en prácticas de reciclaje industrial y un aliado para los chatarreros.

1.2.4 Organigrama

La empresa la componen 5 gerencia más la gerencia general. El proyecto se aplicará en la Gerencia de Operaciones en la subdivisión de Laminación Colina, en la Célula de Mantención.

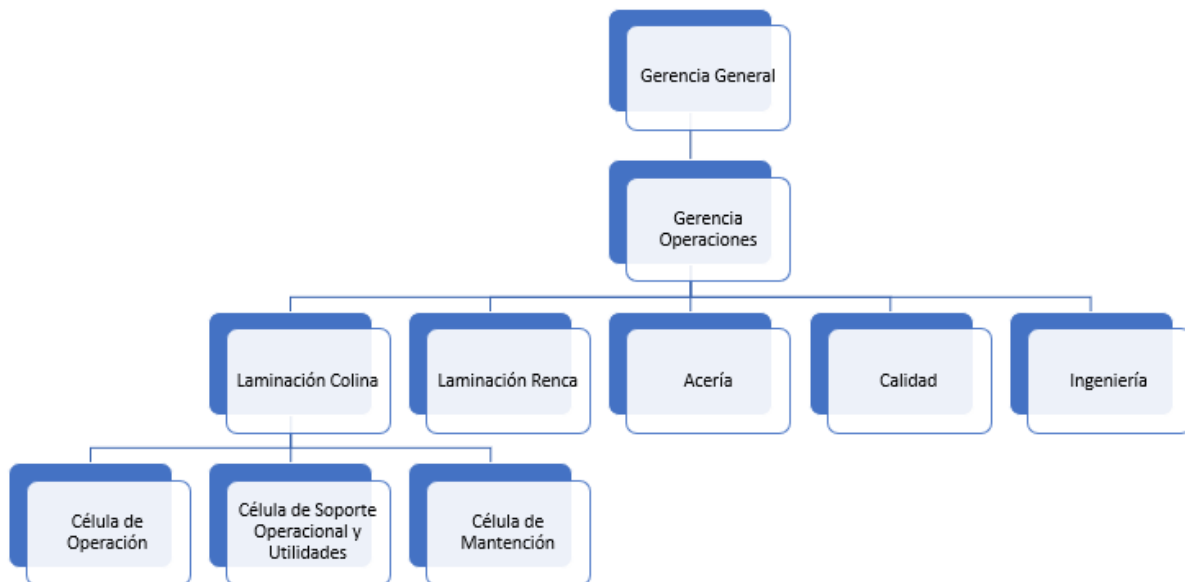


Figura 1. Estructura organizacional Laminación Colina AZA

1.2.5 Cadena de Valor

El proceso de producción de acero comienza con el reciclaje de chatarra ferrosa. Este material es clasificado y procesado en las Prensas para ser trasladado hasta el Horno eléctrico, donde se funde a más de 1600°C. El acero líquido pasa a lo que se conoce como Colada Continua, donde se controla su calidad y composición para luego

obtener palanquillas que es acero semi terminado. Estas se recalientan a una temperatura que permita la deformación de las palanquillas por un proceso de alargamiento y desbaste que se efectúa en secuencia por cilindros verticales y horizontales a presión al que se denomina tren de laminación. Estos cilindros deforman la palanquilla hasta las medidas que se requieren para obtener los productos finales como barras de refuerzo y perfiles, los que son controlados y etiquetados para finalmente ser utilizados en todo tipo de construcciones.



Figura 2. Esquema del proceso de fabricación del acero en AZA
 Nota: Fuente documento interno de AZA.

1.2.6 Plan de inversión y crecimiento

Actualmente las industrias están experimentando un momento de grandes cambios coyunturales, sociales y económicos, impulsados en gran parte por el comienzo de la “4ta Revolución Industrial”, también conocida como “Industria 4.0” (I.4.0). Es por eso que desde el 2020 existe un plan de inversión de US\$30 millones, con el que esperan modernizar sus procesos e invertir en competitividad, eficiencia y tecnología.

La I.4.0 es un enfoque estratégico que integra sistemas de control avanzados con Internet, creando un enlace de comunicación entre personas, máquinas, productos y sistemas. En este contexto, I.4.0 ha estado promoviendo una innovación disruptiva, creando mercados y desestabilizando los formatos comerciales tradicionales.

La capacidad de recopilar, organizar y analizar una diversidad y grandes cantidades de datos de diversas fuentes es una de las principales vertientes de la industria 4.0. La aplicación de Big Data y Data / Analytics permite optimizar la calidad de la producción, ahorrar energía, mejorar el desempeño de los equipos, entre otras posibilidades, a través de técnicas de Inteligencia Artificial, de Machine Learning, Deep Learning, etc., trabajando tanto con datos estructurados como no estructurados (Joyanes, 2017).

Aza participó del “Informe Latinoamericano de la industria 4.0” elaborado por la asociación latinoamericana del acero (ALACERO), donde aparecen las principales tecnologías de la Industria 4.0 usadas por los asociados de ALACERO y el grado de avance con relación al tema. Con este informe Aza logró reconocer su madurez con la industria 4.0 e identificó posibilidades de inversiones para su adaptación en los próximos años.

1.3 Descripción general del proceso.

El proceso de Laminado del acero comienza cuando las barras de acero (palanquillas) provenientes desde el área de Acería, llegan al área mesa de carga de Laminación Colina, las que avanzan en secuencia por las siguientes secciones del laminador:

1.3.1 *Tren Devastador*

El tren de desbaste se compone por las primeras 6 cajas de cilindros verticales y horizontales paralelos que realizan las primeras deformaciones de la palanquilla, preparándola para iniciar los pases en los cilindros intermedios. El tren Devastador es el que mayor reduce el área de la palanquilla.

1.3.2 *Tren Medio*

Son cajas de laminación horizontal y vertical, con una secuencia de laminación ovalo redondo. En el Tren Medio se producen los pases de deformación necesarios para ajustar la sección final con las tolerancias deseadas. La barra va aumentando su longitud y velocidad a medida que avanza por las cajas.

1.3.3 *Mono Block*

Es la máquina terminadora para productos de diámetro menos a 16 mm, donde existe una secuencia de pases de deformación ovalo-redondo, pero con dimensiones más pequeñas obteniendo velocidades hasta 100 m/s. Se utilizan cilindros de Carburo de Tungsteno.

1.3.4 *Formador de Espiras*

Si el producto resultante es el Alambrón, el hilo continuo llega al equipo formador de espiras donde se trasladan y se enfrían hasta generar un rollo de 1.560 Kg.

1.3.5 Parrilla

Si el producto final es barras el hilo continuo se lleva a la parrilla donde terminan su proceso de enfriamiento, donde se empacan, identifican y son retirados para su almacenamiento

1.3.6 Cizallas

Las cizallas, cortan cola y cabeza de la barra, en primera instancia para retirar los defectos que se puedan producir en el proceso del desbaste, luego para entregar el producto con un largo específico para su comercialización.

1.3.7 Caja de Agua

Las Cajas de agua controlan la temperatura de los pases siguientes. Se encuentran en varios puntos del proceso.

1.3.8 Tempcore

Es un proceso de sistema de enfriamiento el cual controla la estructura metalúrgica, aplicando un enfriamiento rápido a la barra, lo que permite alcanzar las propiedades mecánicas sin agregar aleaciones químicas al acero.

1.4 Acerca del problema y su justificación.

La participación de mercado de AZA es de 30%, mientras que CAP tiene una participación de 45%, siendo el 25% restante importaciones de acero desde países como México, Perú, Brasil, Turquía, entre otros. Aza pretende aumentar su participación de mercado produciendo más acero, para ello tienen dos procesos claves que deben mejorar. El primero es aumentar la cantidad de chatarra que se obtiene en el reciclaje, donde en un plazo de 2 años pretenden abrir 10 nuevos acopios de reciclaje, el cual es vital para aumentar la producción. El segundo proceso es el laminado del acero, el cual es el encargado de ir reduciendo el acero hasta conseguir los distintos tipos de productos. Existen dos plantas de laminado, una en Colina y otra en Renca, y existe un plan de inversión para crear una nueva y moderna planta de laminado en el largo plazo. La estrategia de apertura nuevos centros de reciclaje ya comenzó, y se espera aumentar la cantidad de chatarra en el corto plazo.

Debido al aumento de chatarra ferrosa, nace la necesidad de aumentar el tiempo de productividad del laminador realizando un rediseño al proceso de laminación del acero, siendo este uno de los más relevantes dentro de la línea de producción, con altas oportunidades de mejora y participación directa en la estrategia de negocio de aumentar la participación de mercado de la empresa.

El rediseño se realizará en la planta de laminación Colina, donde se pretende aumentar el porcentaje de utilización del laminador. Si el rediseño logra aumentar la

utilización del laminador, generara de forma inmediata un aumento en la producción de la planta, pudiendo aplicar un rediseño similar a la planta de Renca.

La planta de laminado de Colina trabaja las 24 horas, con una utilización promedio del laminador de 75%. El 25% restante es tiempo que el laminador está detenido. Estas detenciones se dividen en interrupciones por fallas en algún proceso del laminador, cambios mecánicos y/o de configuración al laminador para cambiar el tipo de producto final y mantenciones programadas las cuales son ejecutadas por ciertos intervalos de tiempo sin un estándar definido. Todos los tipos de detenciones provocan una detención total de la producción.

Las detenciones por fallas al proceso productivo son 90% correctivas, es decir, se espera la ocurrencia de un evento para reparar, configurar y/o cambiar las piezas del laminador y así continuar con la producción, por otro lado, solo el 10% de las detenciones son mantenciones preventivas.

Las detenciones por fallas son generadas por los siguientes motivos:

- Alta Temperatura central
- Componentes de acoplamiento desplazados
- Deficiencia en Componentes
- Falla de engranajes de acoplamiento
- Falla de rodamientos
- Falta presión de aceite en reductor
- Sobre corriente en motor

Para minimizar las pérdidas y aumentar la producción se pretende rediseñar el proceso de laminado del acero, agregando mediciones e indicadores y centrando el foco de las mantenciones en la utilización de los datos, provenientes de distintos sensores del proceso de laminado del acero, para generar un modelo predictivo de fallas, el cual pueda indicar con anticipación algún evento que pueda ocurrir, disminuyendo las interrupciones en el proceso de laminado y hacer más eficientes las mantenciones preventivas.

1.5 Objetivos y Resultados del Proyecto Aplicado.

1.5.1 Objetivo General

Anticipar las interrupciones por fallas y planificar de forma eficiente las mantenciones del laminado del acero, a través de un rediseño del proceso de detección de fallas

apoyado con un modelo predictivo de datos que permita aumentar la producción en una empresa acerera.

1.5.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos del proyecto son:

- Identificar indicadores de performance y definir métricas de desempeño del proceso de laminado.
- Realizar predicciones de fallas al proceso de laminado utilizando analítica avanzada.
- Rediseñar el proceso de mantención del laminador considerando mantenciones predictivas
- Generar un sistema de alertas tempranas utilizando los datos de los sensores.
- Desarrollar e implementar un prototipo de sistema de gestión de control.
- Generar un plan de implementación y evaluación económica del proyecto.

1.5.3 Resultados Esperados

Se espera una vez finalizado el proyecto contar con un rediseño al proceso del laminado del acero, que incorpore un modelo y algoritmos de Machine Learning que puedan predecir las posibles fallas en el proceso de laminado del acero que detienen la producción de barras, alambrones y perfiles que fabrica AZA

Lo anterior disminuirá el tiempo de fallas de tipo mecánica al predecir la cantidad de eventos que pueden ocurrir en laminador, esperando una reducción de un 70%. Además, reducir el tiempo de las detenciones por mantención al realizarlas de forma eficientes y programadas, generando un aumento en el tiempo que tiene el laminador para producir sus productos. También se espera al disminuir la cantidad de eventos, una reducción en costos asociados a reparaciones, mantenciones y de compra de repuestos de piezas deterioradas del orden del 10%.

Se espera finalizado el proyecto contar con lo siguiente:

- Indicadores de performance y desempeño.
- Contar con un sistema de alertas para la predicción de fallas.
- Contar con un prototipo de sistema de gestión de control.

- Un proceso rediseñado que reducirá el tiempo total de detenciones.

1.6 Alcance.

El proyecto será ejecutado en la planta de Laminación Colina, no considerando la planta de Laminación Renca, ya que los procesos no son iguales, no están en el mismo espacio físico y tiene dependencias de jefaturas distintas, aunque ambas plantas muestran un bajo índice de utilización del laminador.

El proyecto de rediseño al proceso de laminación del acero, contempla las secciones de Tren Desbastador, Tren Medio, Mono Block, Tempcore, formador de Espiras, formador de Rollos y las diferentes Cizallas y cajas de agua del proceso.

El proyecto utilizará la información desde varios orígenes de datos y no contempla unificar sus distintos orígenes en algún sistema de información centralizado.

Para este Magister se trabajará sobre la base de las 5 interrupciones con mayor impacto operacional del laminador.

El prototipo de sistema de gestión de control se realizará en función de los recursos que AZA proporcione para el desarrollo de este.

1.7 Riesgos Potenciales

Los posibles riesgos potenciales que involucran el proyecto y sus respectivas y sus mitigaciones son:

- Encontrar barreras culturales en la organización que impidan la ejecución del proyecto. Para ello se debe implementar herramientas de gestión del cambio donde los principales sponsors deben ser el jefe de Laminación Colina y el Gerente de Operaciones.
- La calidad de los datos (Confiabilidad, Usabilidad, Disponibilidad, Pertinencia y Calidad de Presentación) que proporciona la empresa no logren ser un beneficio real para el proyecto. Se implementará un aumento de sensores del proceso de laminado, y dichos registros serán almacenados en bases de datos.
- Obtener resultados del análisis de los datos que no permitan encontrar relación alguna para determinar de forma anticipada las posibles fallas del proceso de laminado del acero. Se espera ampliar los datos de sensores para implementar análisis predictivo en un futuro.
- Los recursos de los que se dispone para llevar a cabo el proyecto experimenten modificaciones durante el transcurso de este, no pudiendo permitir la implementación del rediseño. Presentar el proyecto, sus resultados de prototipo

y las mejora en los procesos de gestión que pueden disminuir las detenciones por fallas en el proceso de laminado del acero.

- La industria del acero está sufriendo cambios tecnológicos, debido a la cuarta revolución industria, es por eso que existe un riesgo al querer acelerar estos cambios realizando una inversión mayor con una empresa externa, lo que podría generar dificultades en la implementación del rediseño. Se presentará el proyecto, sus resultados de prototipo y las mejora en los procesos de gestión que pueden disminuir las detenciones por fallas en el proceso de laminado del acero, aportando y apoyando a la empresa externa con los conocimientos y expertiz adquirida durante el proyecto.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Metodología de Ingeniería de Negocios.

Se aplicará la metodología de Ingeniería de Negocios, (Barros, 2011), enseñada en el MBE, para determinar un levantamiento y rediseño a los procesos de negocios del laminado del acero, y a partir de estos procesos, diseñar y construir los apoyos tecnológicos que permitan ejecutar tales procesos mejorados.

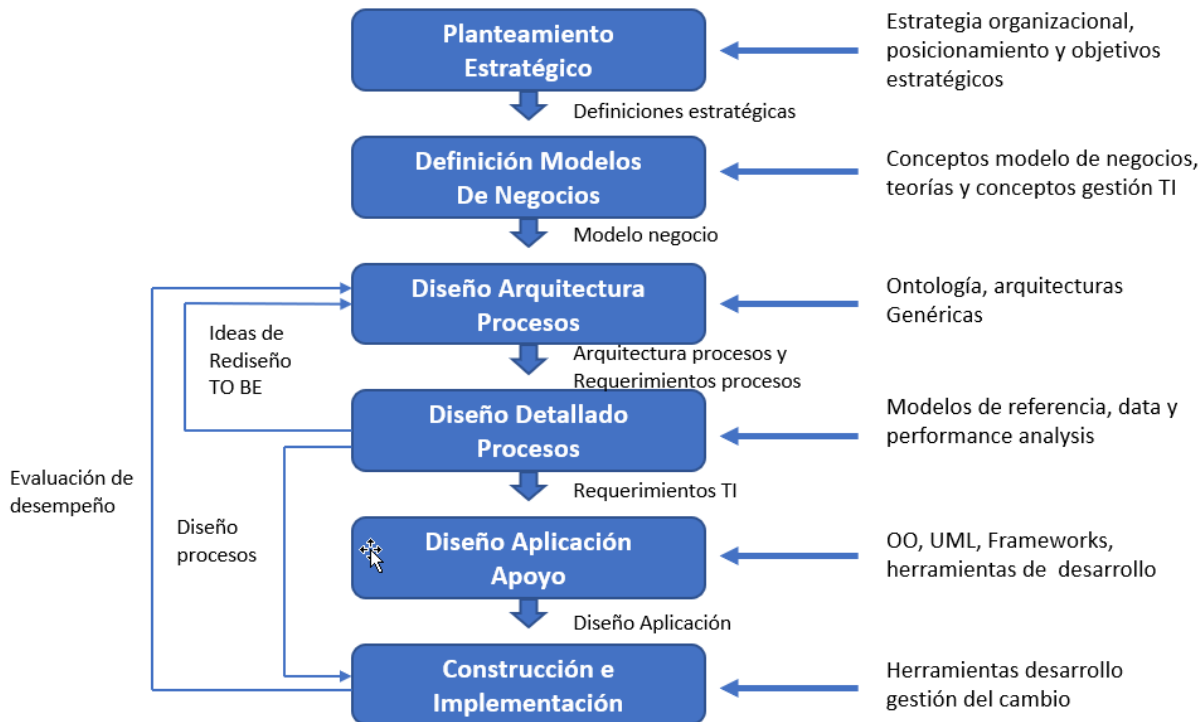


Figura 3. Esquema de Metodología de Ingeniería de Negocios
Nota: Elaboración propia basada en Barros, 2011.

2.1.1 Planteamiento Estratégico

Se plantea la estrategia de la organización y/o línea de negocios respecto al posicionamiento estratégico en el modelo Delta, alineado con el mapa estratégico de la organización y los objetivos estratégicos del Balance Scorecard.

2.1.2 Definición Modelo de Negocios

Se presenta la propuesta de valor de la organización hacia sus clientes, con sus recursos y actividades claves que contribuye significativamente al cumplimiento de uno o más objetivos estratégicos de negocio

2.1.3 *Diseño Arquitectura Empresaria*

Se establece la arquitectura que utiliza la empresa para entregar valor además de las capacidades del negocio, complementado con el apoyo de diseño de procesos, sistemas, organización y apoyo tecnológico. Se utilizan patrones de negocios y de procesos para entregar una guía de diseño en la implementación del negocio.

2.1.4 *Diseño Detallado de Procesos*

Se describen en detalle los procesos en base al patrón de macro procesos establecido. Se utiliza notación modelamiento de procesos de negocios BPMN para la descripción de las actividades y flujos de negocio.

2.1.5 *Diseño Aplicación Apoyo*

A partir del rediseño de proceso se establecen las arquitecturas tecnológicas y de sistemas que proporcionaran el apoyo a los procesos mejorados y su ejecución.

2.1.6 *Construcción e Implementación*

Se construye y se implementa el rediseño de procesos, contemplando la gestión del cambio de los nuevos procesos que cambiaran las prácticas de los colaboradores de la organización.

2.2 *Revisión Literaria.*

2.2.1 *Patrones de Procesos de Negocios*

Con la metodología de patrones de procesos de negocio (Barros, 2000) se pretende establecer los procesos necesarios dentro de esta organización para implementar las capacidades y el rediseño que requiere el negocio. Todos los procesos comparten una arquitectura común, donde el termino de arquitectura se utiliza para manifestar la existencia de estructuras de componentes, las cuales incluyen tipos de componentes y relaciones genéricas entre ellos.

Para diseñar la arquitectura se usan patrones que se basan en extensiva experiencia de diseño de procesos realizada en cientos de casos reales y comparten la idea que existen cuatro agrupaciones de procesos, llamados macroprocesos, que existen en cualquier organización, ellos son:

- Macroproceso 1: Conjunto de procesos que ejecutan la producción de bienes y/o servicios de la empresa. Este macroproceso se denomina cadena de valor.
- Macroprocesos 2: Conjunto de procesos que desarrollan las nuevas capacidades que la empresa requiere para ser competitiva, incorporando nuevos productos y servicios. Este macroproceso se centra en la capacidad de innovación y creación de nuevos modelos de negocio de la empresa.

- Macroproceso 3: Conjunto de procesos que planifican el negocio, planteando estrategias para el curso futuro de la organización, que se materializan en planes y programas.
- Macroproceso 4: Conjunto de procesos de apoyo que manejan los recursos necesarios para que operen los otros tres macroprocesos. Hay cuatro grandes grupos: recursos financieros, humanos, infraestructura y materiales.

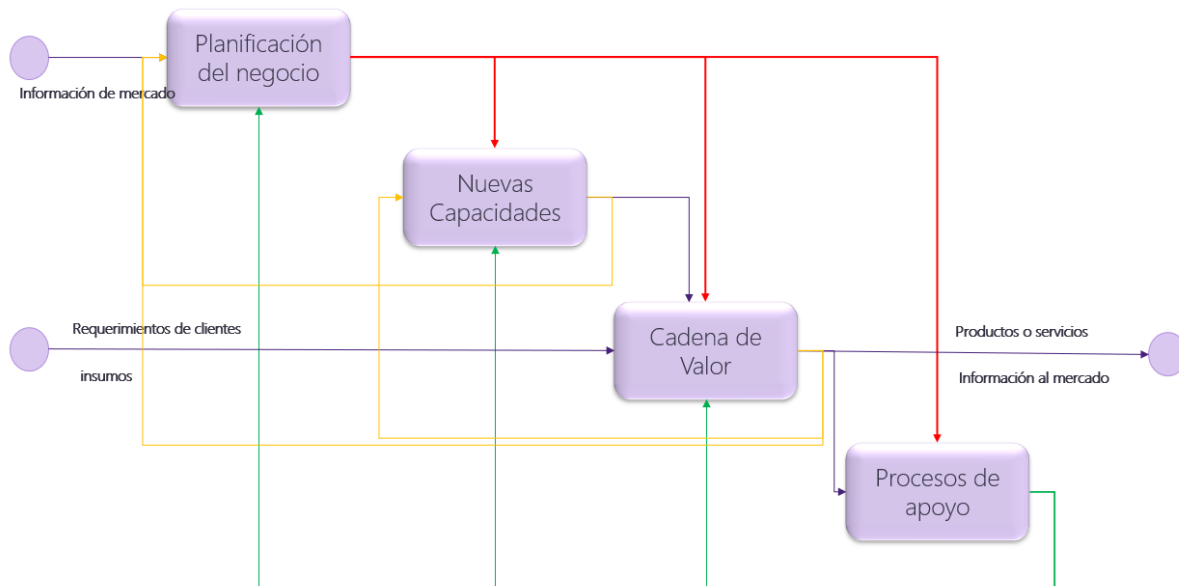


Figura 4. Arquitectura de Macroprocesos
Nota: Elaboración propia basada en Barros, 2000.

2.2.2 Value-Driven Business Process Management.

La gestión de procesos empresariales basada en el valor, proporciona justificación y métodos para utilizar el proceso empresarial, donde se pretende identificar procesos prioritarios, segmentar estos procesos, obtener su nivel de madurez para generar un mapa de procesos.

Las etapas claves son:

- **Priorizar.** Se identifican los objetivos estratégicos y los drivers de negocio, para luego seleccionar los procesos según su importancia para los drivers y objetivos antes señalados.
- **Segmentar.** Los procesos priorizados se segmentan según su importancia estratégica y potencial de estandarización.

- Madurez. Los procesos segmentados se analizan desde el punto de vista de su madurez como procesos, ejemplo: Existencia de Metodología, Six Sigma, Lean, Simulaciones formales, prácticas formales de procesos entre otras.
- Roadmap. Generar el mapa de procesos de implementación de procesos según los análisis realizados en etapas anteriores.

2.2.3 Cross Industry Standard Process for Data Mining.

Se utilizará analítica avanzada con la data existente del proceso de laminado, para la creación de un modelo predictivo con la metodología CRISP-DM (Chapman & Clinton, 2000), donde se dará énfasis a la comprensión del negocio y sus datos, preparando estos últimos para comenzar con ciclos iterativos para el modelado y evaluación, finalizando con el despliegue de los algoritmos que se diseñaran para identificar patrones naturales en los datos, contribuyendo a tomar mejores decisiones para las detenciones por mantenimiento del laminador y realizar predicciones de las fallas a este proceso.

CRISP-DM es una metodología o modelo de procesos de procesamiento de datos, que independiente de la herramienta, la aplicación o de la industria, logra adaptarse debido a que utiliza enfoques comunes con fases delimitadas que ayudan a poner orden en los proyectos enfocándose en los problemas de negocios.

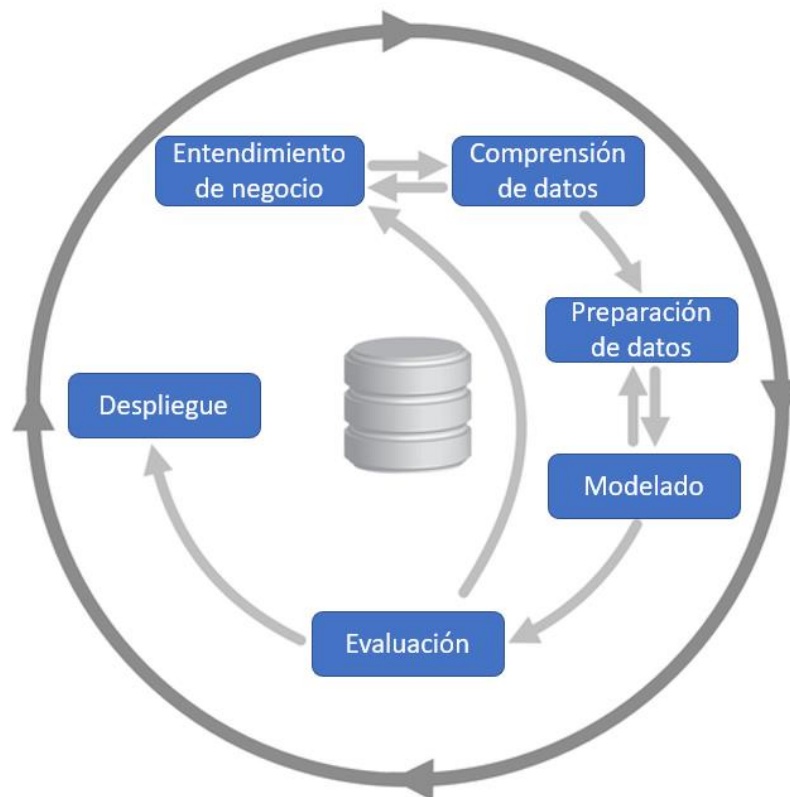


Figura 5. Ciclo de Vida CRISP-DM

Nota: Elaboración propia basada en Chapman & Clinton, 2000.

2.2.4 Lean Manufacturing.

Con los procesos identificados se pretende aplicar filosofía Lean (Jones and Womack, 2000), para rediseñar estos y poder entregar el máximo valor para los clientes, utilizando para ello los mínimos recursos necesarios y eliminando los desperdicios de los procesos productivos en el laminador.

Los principios fundamentales que se quieren aplicar de esta metodología son:

- Minimizar los desperdicios: eliminación de todas las actividades que no generan valor para el cliente, optimizando el uso de los recursos escasos.
- Mejora continua: mediante la búsqueda constante de la reducción de costos, mejora de la calidad, aumento de la productividad y mejora en los mecanismos de coordinación y comunicación.

Esta metodología comenzó en la industria manufacturera automotriz, y su aplicación a llegado a otras industrias como textil, forestal, construcción, salud, software, entre otras.

2.2.5 Business Process Model and Notation

Se utilizará modelo y notación de procesos de negocio, en una notación gráfica estandarizada que permite el modelado de procesos de negocio y su flujo de trabajo (White & Miers, 2009) para representar el proceso de laminado del acero y su rediseño. Esta notación es estándar e internacional y se compone básicamente de: objetos de flujo como actividades, eventos, compuertas y conectores; objetos de conexión como flujo de secuencia, flujo de mensaje y asociación; artefactos como objetos de datos, grupo y anotación.

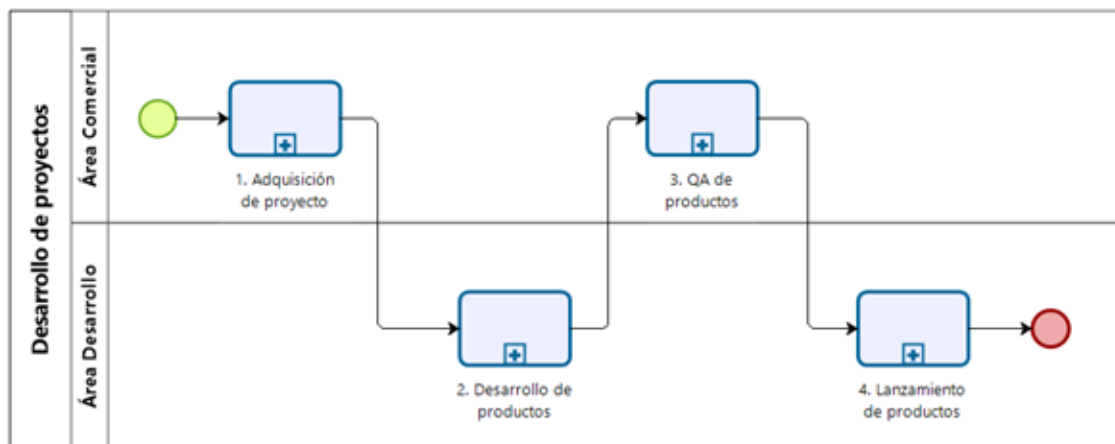


Figura 6. Ejemplo de un proceso en notación BPMN

2.2.6 Modelos de machine learning

En el proyecto se utilizarán modelos de machine learning predictivos, los que serán alimentados con registros de ejemplo similares a los datos que se obtienen de los distintos sensores del laminador. Para los problemas de clasificación y regresión se utilizan modelos y estrategias que realicen predicciones basándose en la tendencia hacia un resultado concreto.

- Árboles de decisión: es un algoritmo que se inicia en un nodo principal el cual se subdivide en resultados posibles. Esos resultados posibles pueden ser nodos intermedios los cuales se siguen subdividiendo en más resultados posibles. Si no existen más posibilidades pasan a ser llamados nodos finales u hojas y su función es indicar la clasificación final que arroja el algoritmo.
- Boosting: es una estrategia del modelo de árboles de decisión, donde se entrena un modelo con un conjunto de entrenamiento, generando nuevos modelos que se construyen ajustando los valores de error del modelo inicial, asignando más peso a las observaciones pobres del modelo anterior. Luego se ponderan sus puntuaciones de precisión combinando sus resultados en una estimación final.
- XGBoost: es un algoritmo de utilización de árboles de decisión y el algoritmo Gradient boosting diseñada para minimizar el tiempo de ejecución y maximizar el rendimiento, un ejemplo de su utilización es predecir si un paciente tiene o no cáncer de mama en base a los detalles técnicos de las biopsias.

Adicional a la selección del algoritmo a utilizar es importante realizar una selección de variables, teniendo como beneficio disminuir la información que procesa el algoritmo, centrándose en pocos detalles que mejor representan la información que se tiene, disminuyendo el tiempo de procesamiento y optimizando los recursos de la máquina.

Algunas de estas técnicas son las siguientes:

- Eliminación hacia atrás: Esta técnica de selección de variables utiliza un procedimiento de selección de variables en el que todas las variables se introducen en la evaluación y luego se eliminan secuencialmente. La variable que tiene la correlación más pequeña con la variable dependiente se toma como candidata en primer lugar para ser eliminada. Si la variable satisface el criterio es eliminada. Una vez que se elimina la primera variable, la variable que se mantiene con la menor correlación se considera para la siguiente evaluación. El algoritmo termina cuando no hay variables en la ecuación que cumplan con los criterios de eliminación.
- Selección hacia adelante: Esta técnica de selección de variables utiliza un procedimiento por pasos en el que las variables se introducen secuencialmente en el modelo a evaluar. Para el caso del proyecto ira introduciendo las variables de los sensores y evaluando la correlación positiva o negativa con cada variable dependiente. Esta variable se considera sólo si satisface el criterio de entrada.

Si no cumple con el criterio se considera la siguiente variable. El procedimiento se termina cuando no hay variables que cumplan el criterio que se determinó en el inicio.

- Correlación de Pearson: El coeficiente de correlación de Pearson se utiliza para analizar la relación entre dos variables aleatorias cuantitativas y nos indicara acerca de la intensidad y la dirección de esta relación.

Existen varias técnicas que se pueden utilizar, pero todas ellas deberán ser implementadas para identificar cual es la mejor según el modelo y variables que se tienen para aprender.

CAPITULO 3. PLANTEAMIENTO ESTRATÉGICO Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1 Posicionamiento Estratégico.

El posicionamiento estratégico según el modelo Delta (Hax & Wile, 2003) ubica a AZA en un mejor producto por diferenciación, donde su característica única que genera valor es obtener sus productos de una manera sostenibles por medio de un modelo de economía circular, cuidando el medio ambiente y manteniendo los estándares de calidad más exigentes de la industria.

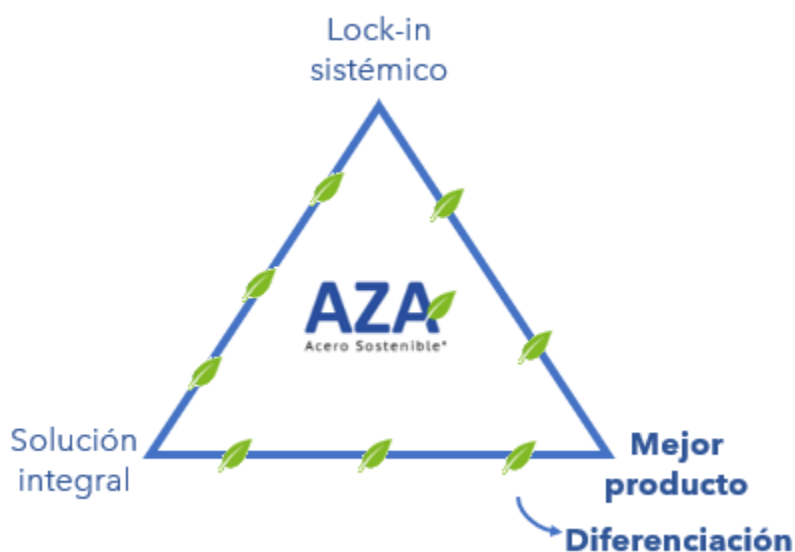


Figura 7. Modelo Delta Hax AZA

3.2 Definición del Negocio.

A continuación, se presentan las cuatro categorías que definen el negocio de AZA, para el proceso de laminado del acero, pasando por sus clientes y proveedores tanto internos como externos y, hasta sus insumos y productos finales.

3.2.1 Proveedores.

Dentro de los proveedores internos de AZA se encuentran aquellos que proveen los productos necesarios para el laminado del acero, siendo las palanquillas recalentadas el principal producto, provenientes desde la Acería. También se necesitan diferentes productos secundarios desde Bodega, Ventas, Informática, Contratistas y

Maestranzas. Dentro de los proveedores externos se encuentran aquellos que proveen de energía las maquinarias como Copec, Enel, Shell. También se encuentra el Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales para todo lo relacionado con las maquinarias y estructuras de todos los procesos del laminado.

3.2.2 Clientes

Su principal cliente es Despacho, quienes a su vez entregan los productos terminados a las siguientes empresas: Trefilados GERDAU, SODIMAC, CONSTRUMART, ACMA, ACINDAR, SACK y Fabricators.

3.2.3 Insumos

Sus principales insumos son:

- Palanquillas.
- Electricidad, Gas Natural y Petróleo.
- Cilindros, Discos.
- Stand Preparados y Guías Preparadas.
- Lubricantes.
- Agua y Aire Comprimido.
- Cuchillos, Tubos.
- Refractarios, Maderas y Aluminio.
- EPP.
- Programa de Producción.
- Padrones y Entrenamiento.
- Mantenimiento y Cambio.
- Servicios Externos

3.2.4 Productos

Dentro de sus productos se encuentran barras y alambrones de dos tipos de calidades, A-630 y A-440 con diferentes longitudes:

- Barras para Hormigón dese 8 a 36 milímetros.
- Barras Lisas.
- Rollos para Hormigón desde 6 a 16 milímetros.
- Rollos Alambón desde 5.5 a 12 milímetros.

3.3 Diagnóstico de la Situación Actual.

3.3.1 Problema y oportunidades de mejora

La estrategia de la empresa es aumentar la participación de mercado creando valor de manera sostenible y con solidez financiera, generando una necesidad de negocio de aumentar la producción.

Dentro de los procesos claves que influyen en el proceso productivo, dos de ellos presentan problemas de crecimiento de infraestructura. El primero es la cantidad de chatarra que se puede recolectar, donde ya existe un plan de inversión para abrir nuevos centros de reciclaje. El segundo de ellos es el proceso de laminación del acero, ya que su infraestructura no permite crecimiento al ser un proceso secuencial, por ende, si se necesita aumentar la producción se deberá invertir en una nueva planta de laminación.

Este último proceso tiene una utilización productiva por debajo del 70%, debido a las diferentes detenciones que tiene el proceso productivo, generando gran interés de mejorar su utilización, aumentando de esta forma la producción y la participación de mercado de la empresa.

El proceso de laminado del acero es un claro candidato para el rediseño, impactando directamente en los objetivos estratégicos de AZA. Este proceso tiene las siguientes oportunidades de mejora:

- Disminuir las interrupciones por falla al proceso productivo.
- Disminuir los retrasos al proceso productivo
- Programar de manera eficiente las detenciones por mantenciones.
- Programar de manera eficiente las detenciones por cambios de productos.

Se identificaron los procesos prioritarios a través de la estrategia y los drivers de negocio que ayudan a cumplir el aumento de la participación de mercado de AZA creando valor de manera sostenible y con solidez financiera.

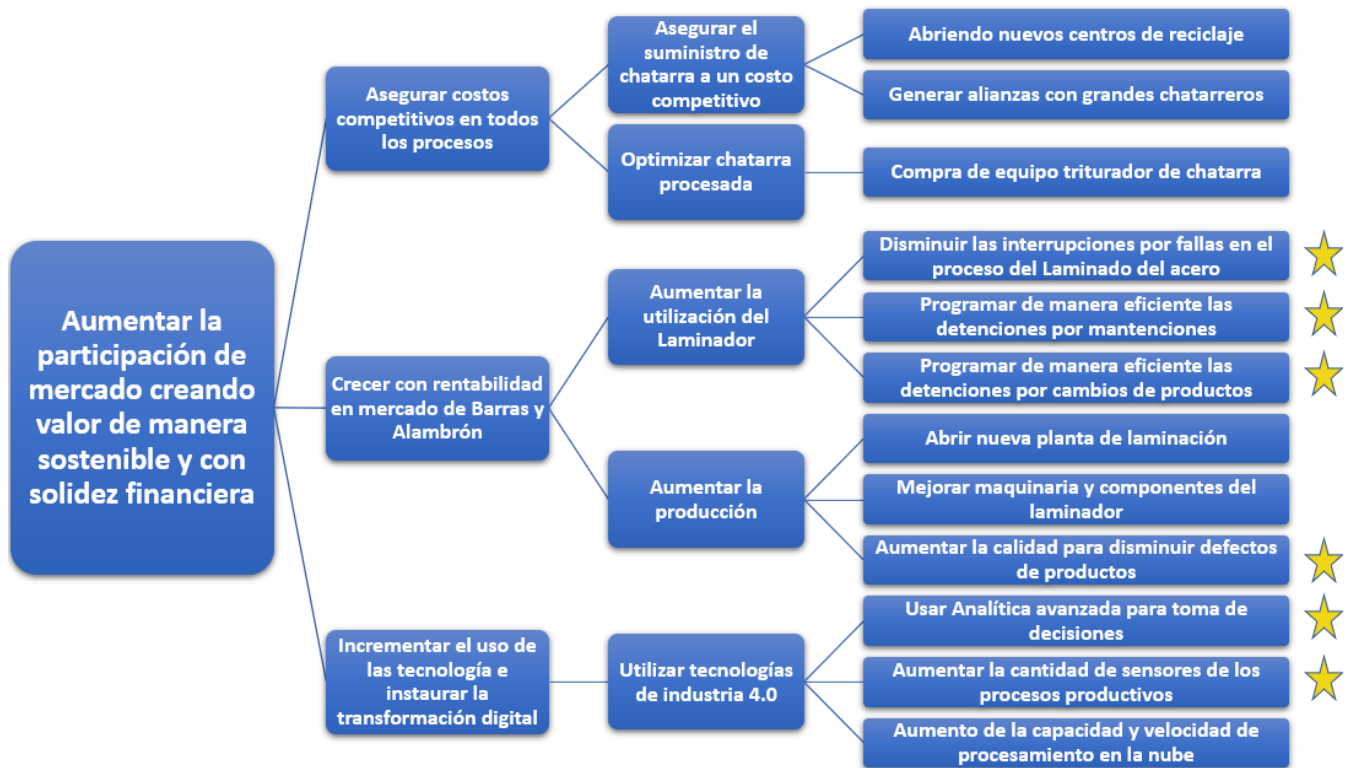


Figura 8. Análisis de problema a través de la estrategia y driver de negocios.

3.3.2 Arquitectura de Procesos AS IS

Para ubicar el proceso de laminado del acero dentro de la arquitectura de procesos utilizaremos los patrones de proceso de negocios de Barros (Barros, 2000), cuyo fin es identificar el proceso del laminado del acero dentro de la arquitectura de procesos de AZA.

El laminador del acero se encuentra en la Macro 1, que es la “Cadena de Valor” y es el conjunto de procesos que ejecutan la producción de bienes y/o Servicios, en AZA el producto final son las barras y alambrones.

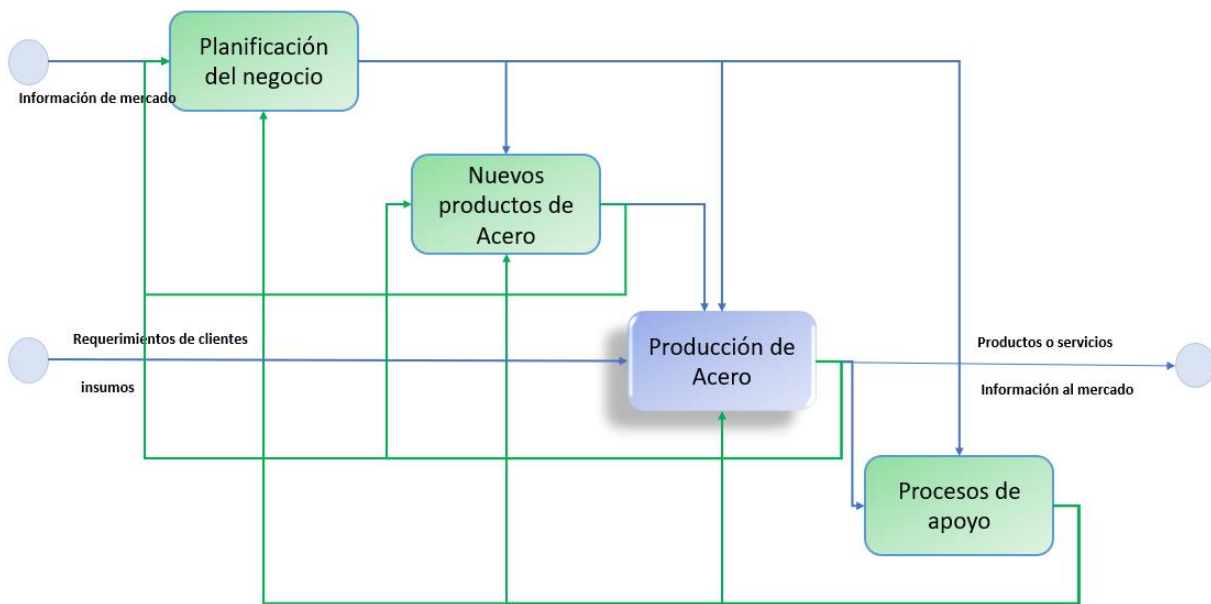


Figura 9. Macro 1 Nivel 1 “Cadena de valor”

En el segundo nivel de la macro 1 se encuentra “Gestión de producción y entrega” donde se genera un plan e instrucciones de producción y entrega de los distintos productos de acero. En Aza podemos instanciar este proceso como “Gestión y producción de Acero”.

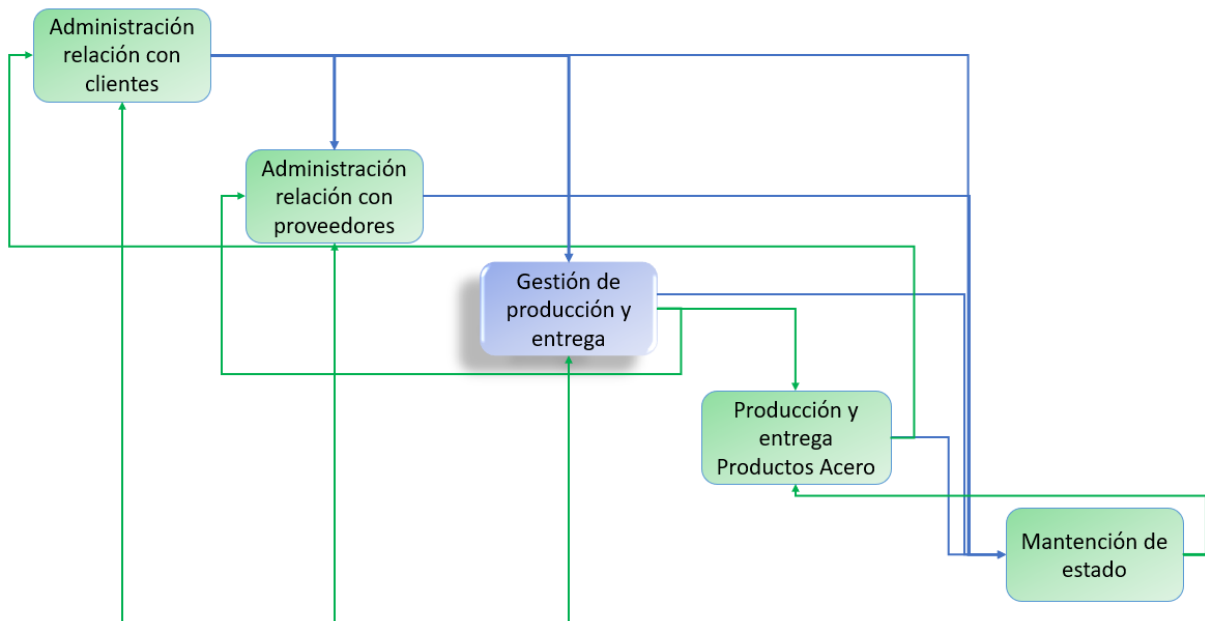


Figura 10. Macro 1 Nivel 2 “Gestión de producción y entrega”

En el patrón de proceso de tercer nivel esta “Planificación y control de producción”. En este proceso es donde se espera implementar un rediseño a la detección de fallas y planificación de uso del laminador, el cual contemple mediante analítica avanzada, un cambio en la toma de decisiones de las interrupciones y detenciones actuales al proceso de laminado del acero.

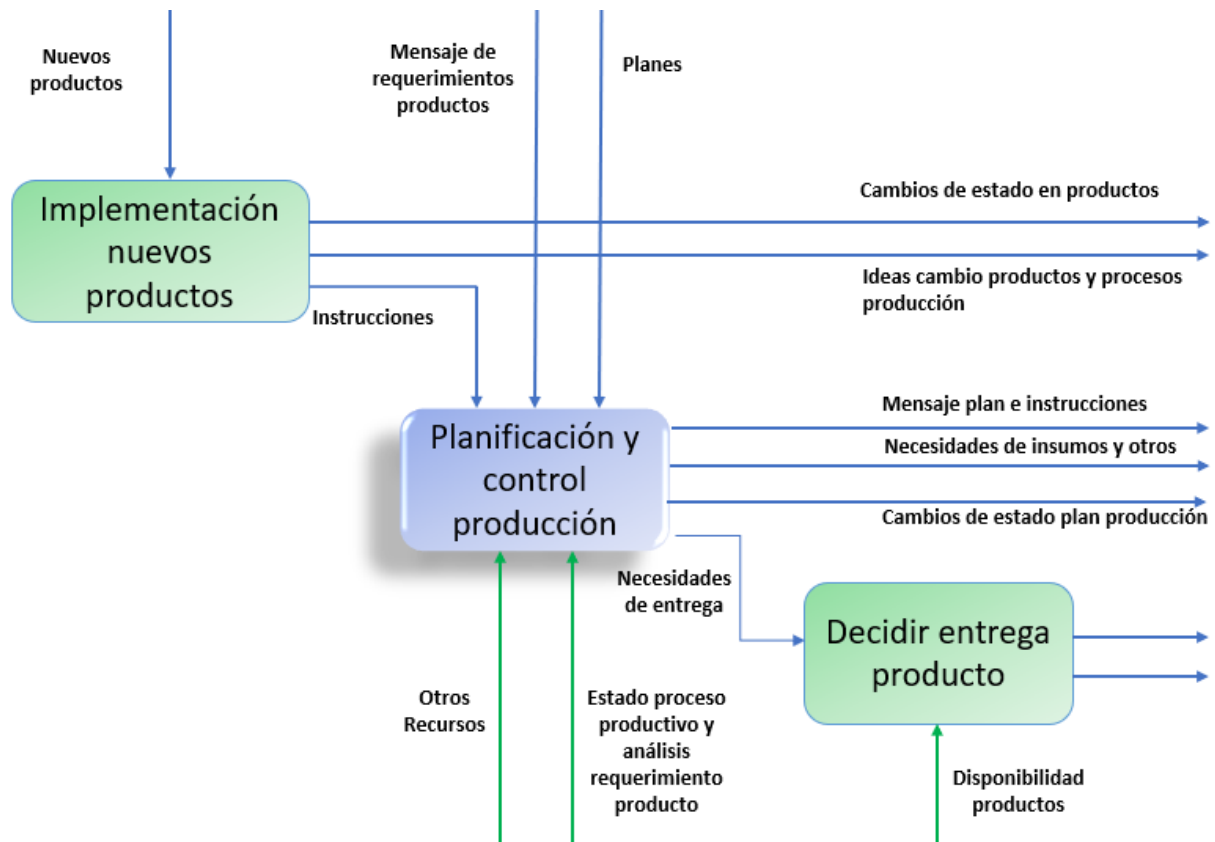


Figura 11. Macro 1 Nivel 3 “Planificación y control de producción”

3.3.3 Modelamiento Detallado de Procesos AS IS

A continuación, se detalla el proceso productivo de la generación de barras y rollos de acero incluyendo el flujo de detenciones por fallas en un BPM para identificar posteriormente el área donde se aplicará el rediseño.

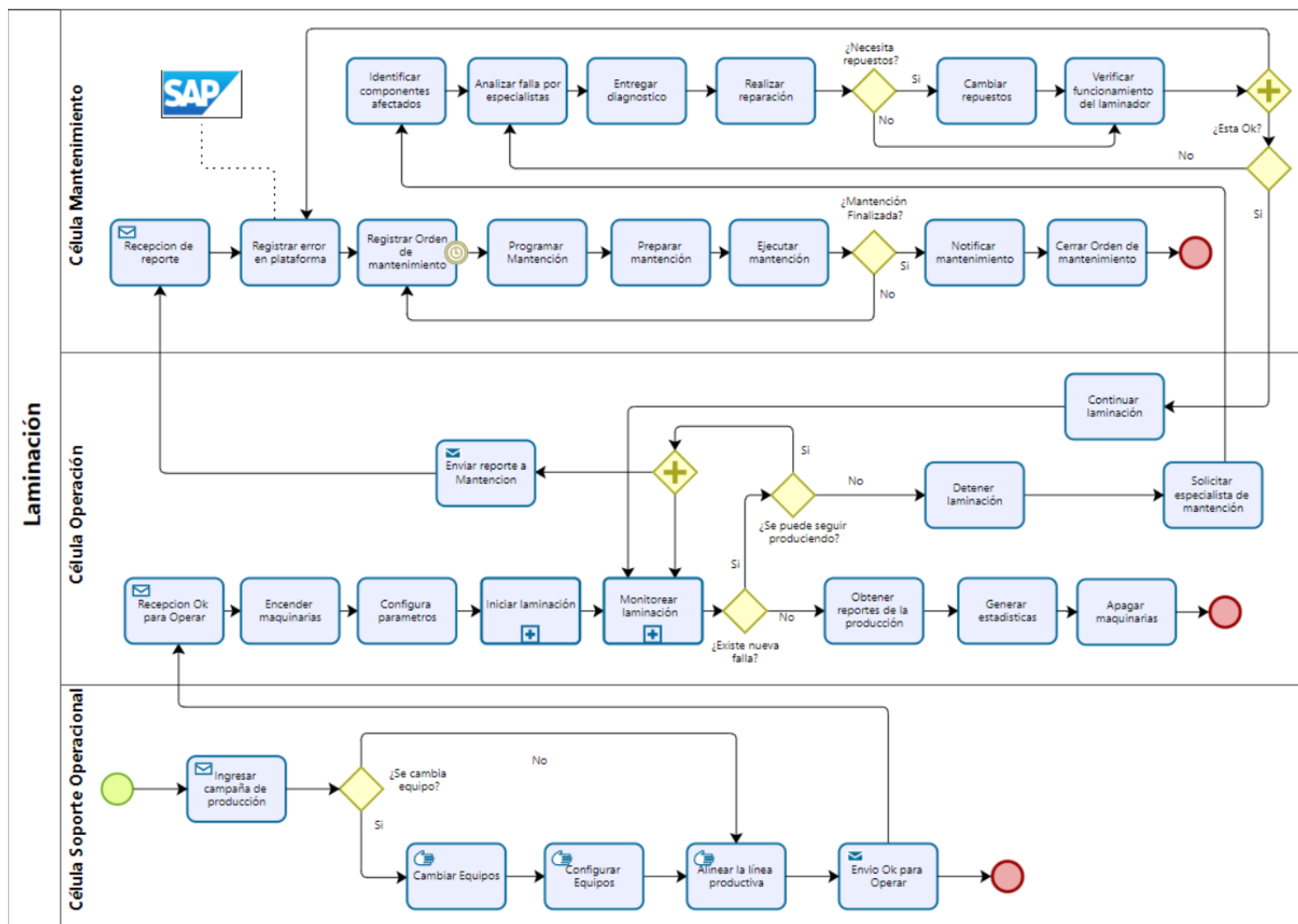


Figura 12. Modelo BPMN - Laminación

También es necesario identificar las secciones del laminador y su proceso en la generación de los distintos productos de AZA, ya que son parte fundamental del rediseño al proporcionar los datos por medio de los sensores de temperatura, torque, corriente y vibración. Cabe señalar que no se pretende modificar la estructura de este, sino que el rediseño ayudara para predecir en las distintas partes y componentes del laminador, fallas que detienen la producción.

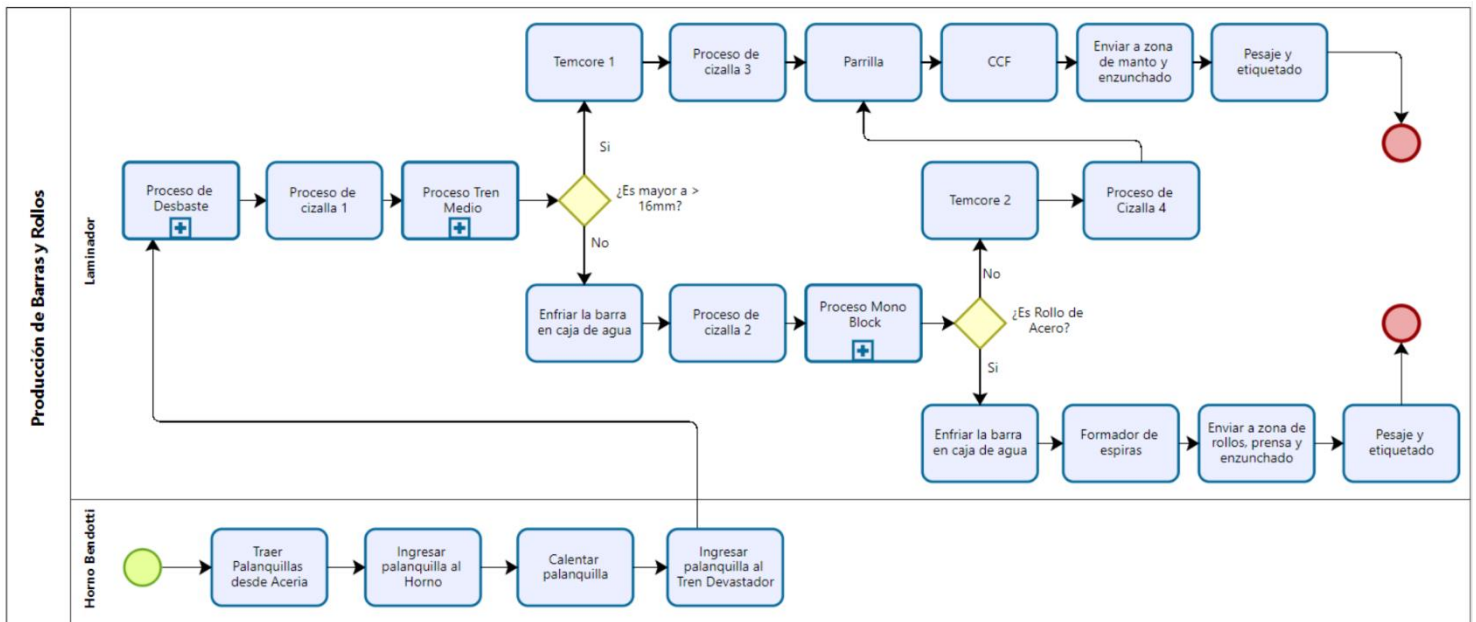


Figura 13. Modelo BPMN - Producción de barras y rollos.

3.4 Cuantificación del problema.

Para cuantificar el problema propuesto se utilizó la información de las detenciones del año 2020. En esta información se tienen datos relevantes para el problema propuesto como fecha de inicio, fecha de término, duración de la detención y tipo de detención.

Existen 6 tipos de detenciones:

- Acería. Detenciones provocadas por retrasos desde la planta de acero donde se encuentran las palanquillas hacia el Horno.
- Eléctrica - Electrónica. Detenciones por fallas atribuibles a energía eléctrica y aparatos electrónicos.
- Cambio de Equipo. Detenciones provocadas por un cambio en algún equipo o componente del laminador.
- Mecánicas. Detenciones provocadas por fallas mecánicas en el laminador o atascamiento de las palanquillas por el tren.
- Operación. Detenciones propias de la operación como pruebas de calidad, procesos manuales, cambio de producto a fabricar (Barras delgadas, barras gruesas o rollos)
- Externas. Detenciones ajenas al proceso de laminación (Virus informático)

Con los datos cuantificados es posible realizar una estimación del valor por detenciones, ya que cada minuto que el Laminador este detenido tiene un costo

promedio de 50 dólares, además de dejar de producir un estimado de 53 toneladas de acero en promedio por cada hora.

El total de detenciones del año 2020 suma 5785 eventos que pararon totalmente el proceso productivo, con una duración de 36,43 días, dejando de producir 46.339 toneladas de acero con un costo estimado de 2,6 millones de dólares. A dicho valor se debe sumar los costos efectuados por mantenciones y compras de repuestos de maquinaria los cuales aumentarían los costos llevando el número a los 3,5 millones de dólares.

Las toneladas de acero no producidas por detenciones son un 16,8% de la producción total del año 2020.

A continuación, se detallan las detenciones por las distintas disciplinas.

Disciplina	Horas	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Aceria	19	2%	150	3%
Electrica-Electronica	155	18%	660	11%
Equipo cambio	62	7%	196	3%
Mecanica	159	18%	623	11%
Operacion	424	49%	4055	70%
Externas	54	6%	101	2%
Total general	874	100%	5785	100%

Figura 14. Tabla de detenciones por disciplina en el año 2020.

Se pretende utilizar las detenciones mecánicas para validar el rediseño al proceso de laminación, generando con los datos de sensores e interrupciones un modelo predictivo de fallas. Las detenciones mecánicas suman un total de 159 horas de detención, 477.360 dólares de pérdidas y 8.433 toneladas de acero no producido.

De esta manera el proceso del laminado del acero se convierte en un claro candidato para el rediseño de procesos del magister, ya que existen oportunidades de mejora, un bajo nivel de inversión para el proyecto y está alineado con la estrategia de la empresa.

La empresa actualmente considera en sus costos un equipo de mantención especializado para fallas de carácter reactivas, por lo que el modelo propuesto pretende ampliar las facultades del equipo de mantención para analizar los datos de los sensores y estimar mediante un modelo predictivo las posibles fallas que ocurran en base a los datos de los sensores. Para que este proyecto pueda ampliarse a todas las secciones del laminador, incluyendo otros tipos de detenciones que no sean de

tipo mecánicas, se espera lograr un modelo predictivo que pueda predecir el 70% de las detenciones por fallas de tipo mecánicas.

Con este porcentaje de predicción se espera generar 111 horas más de producción al año, lo que equivale a 5.900 toneladas de acero, reduciendo las pérdidas en 334.152 dólares y un ahorro en la compra de repuestos cercana al 10% del valor anual en este ítem.

CAPITULO 4. PROPUESTA DE DISEÑO DE PROCESOS

En este capítulo se detallará el rediseño propuesto al proceso de mantención de fallas en el laminado del acero y la lógica de negocios que se debe implementar.

4.1 Direcciones de Cambio y Alcance

La situación actual y la propuesta para cada variable de dirección de cambio serán abordadas en la siguiente tabla.

N.º	Variables	Situación Actual	Situación Propuesta
1	Asignación de responsabilidades	No existe un área específica que gobierno los datos de los sensores	Célula de mantención es responsable del estado de los sensores y debe velar por su correcto funcionamiento y disponibilidad
2	Anticipación	Falta anticipación a las interrupciones por fallas en el laminado del acero. Mantenciones reactivas	Anticipación de las detenciones por fallas mediante analítica avanzada
3	Mantención consolidada de estado	Falta visualización de información de sensores por la célula de mantención información de sensores por la célula de mantención	Disponibilizar la información de los sensores a todos los actores del proceso de laminado del acero.
4	Apoyo Computacional	La información histórica de los sensores está en archivos .dat de difícil acceso	La información histórica y en línea serán almacenados en bases de datos
		Los datos de sensores no son analizados	Los datos de sensores se utilizarán para crear modelos de machine learning
		La visualización de los archivos .dat es mediante el software ibaAnalyzer	La visualización de los datos de sensores se realizará mediante un prototipo web de gestión de control

Figura 15. Variables de dirección de cambio.

Las variables de dirección de cambio apuntan a migrar desde las mantenciones reactivas hacia la detección de fallas y mantenciones predictivas, con sustento en los datos que se tienen de las distintas secciones del laminador.

Mediante la figura 16 Lean Journey, se explica visualmente los pasos para abordar el desafío focal y el alcance del proyecto.

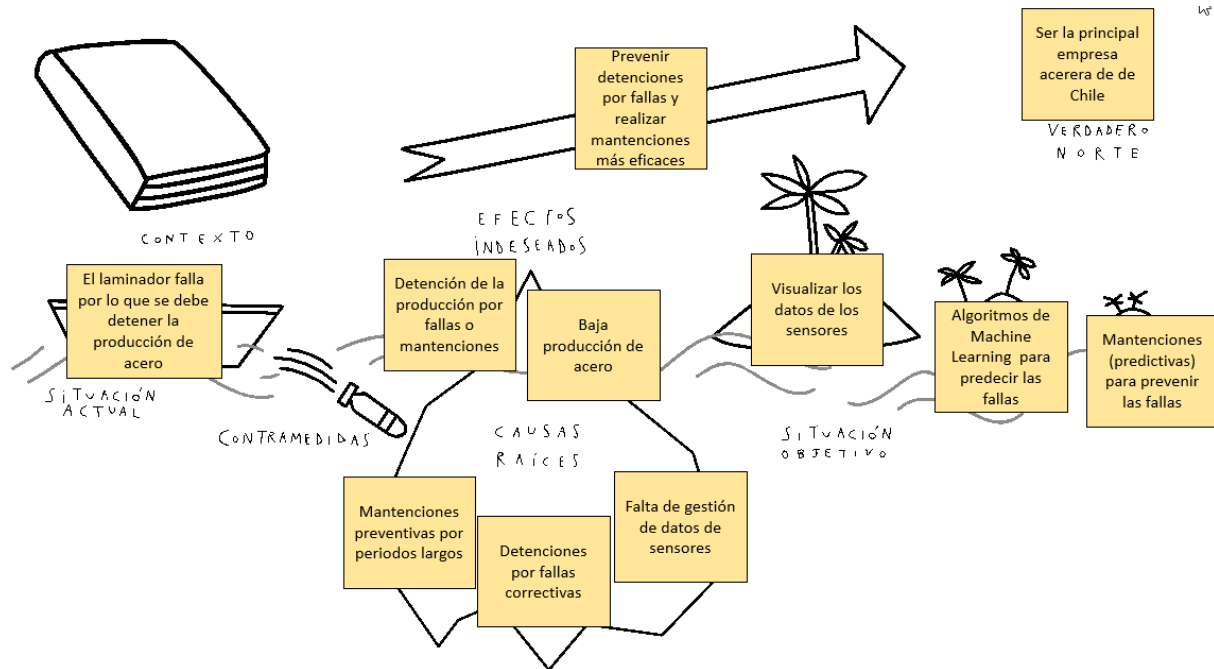


Figura 16. Lean journey – Desafío focal.
Fuente: The Lean Journey Canvas, 2017

4.2 Propuesta de solución

La propuesta de solución es realizar un rediseño al proceso de mantención de laminación de acero, reemplazando las mantenciones reactivas a mantenciones predictivas, realizando cambios a nivel de procesos y de lógica de negocios. Para ello se utilizarán como apoyo los datos de los distintos sensores de las secciones del laminador, aplicando analítica avanzada para generar un modelo predictivo de machine learning que pueda estimar en un determinado tiempo una ocurrencia de falla que detenga la producción. Al predecir las fallas se podrá realizar mantenciones más eficientes, reduciendo el tiempo de las detenciones y aumentando el tiempo de producción.

4.3 Arquitectura de procesos TO BE

El diseño de procesos TO BE no contempla realizar cambios a nivel de macroprocesos, debido a que el rediseño se enfocara en implementar nuevas herramientas tecnológicas para migrar de mantenciones reactivas a predictivas.

3 Fuente: <https://www.theleanjourney.info/>

4.4 Modelamiento detallado de procesos TO BE

En la figura 17 se muestra el proceso productivo de la generación de barras y rollos de acero incluyendo el flujo de detenciones por fallas, donde el cambio principal del rediseño será iniciado desde el monitoreo realizado por la célula de operación.

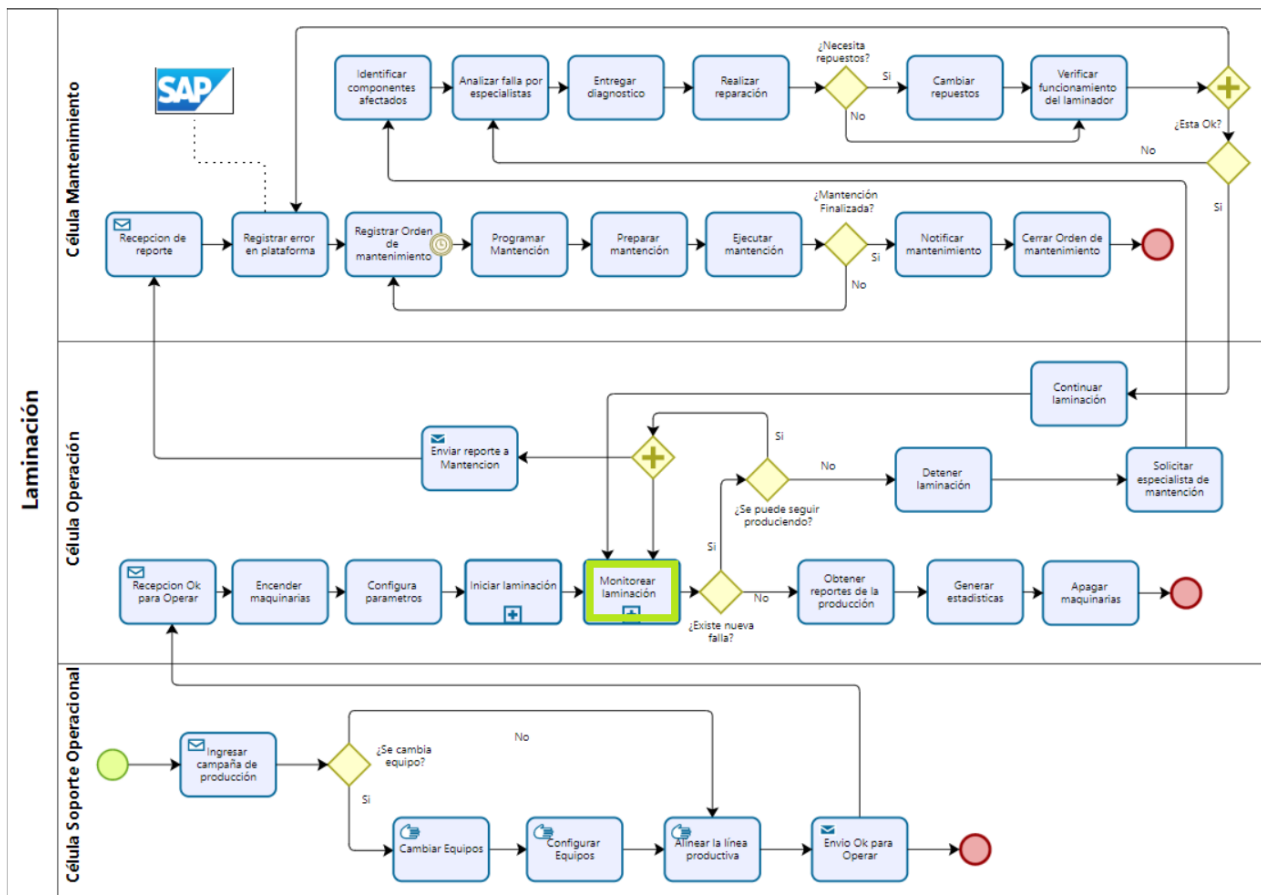


Figura 17. Modelo BPMN - Proceso a intervenir en Laminación.

En el subproceso “Monitorear laminación” se realiza una revisión completa de la laminación, en base a los datos arrojados por los sensores. Este proceso lo realiza la célula de operación con el software ibaAnalyzer, el cual permite ver el estado de los sensores y las distintas secciones del laminador (maquinarias). Con estos datos los operarios principalmente identifican cambio en la temperatura, los cuales regulan con inyecciones de agua, para mantener la temperatura estable. Se espera implementar una vista del estado actual de los sensores y una predictiva con el estado a futuro de estos, lo cual no implica un cambio en el monitoreo, sino que aumentan las herramientas y los indicadores que debe revisar la célula de operación. Si el proceso de laminación tiene alertas, se realizará un primer análisis con los cambios de estados de los sensores, informando al encargado de turno de la célula de mantenimiento las distintas novedades que se presenten en el proceso de laminado. Cabe mencionar que la célula de mantención es responsable del estado de los sensores y debe velar por su correcto funcionamiento y disponibilidad.

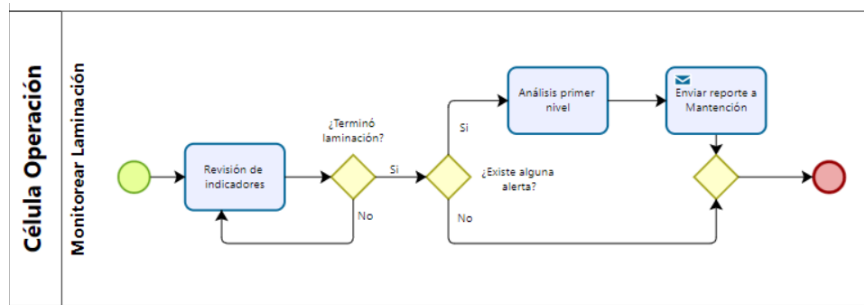


Figura 18. Modelo BPMN - Subproceso Monitorrear laminación.

El encargado de turno de la célula de mantenimiento, analizará lo informado por la célula de operación, generando ordenes de mantenimiento y/o realizando ajustes al modelo en caso de que apliquen.

En la figura 19 se describen los distintos subprocesos que tendrá el análisis predictivo que se pretende implementar con este proyecto. Esta sección del flujo tendrá un nuevo rol como protagonista dentro de la empresa, el cual será un Data Scientist. Sus funciones serán de ajustar y mejorar el modelo propuesto en base a los análisis que realizara de los datos de los sensores, modificando y agregando nuevos KPI de estos datos.

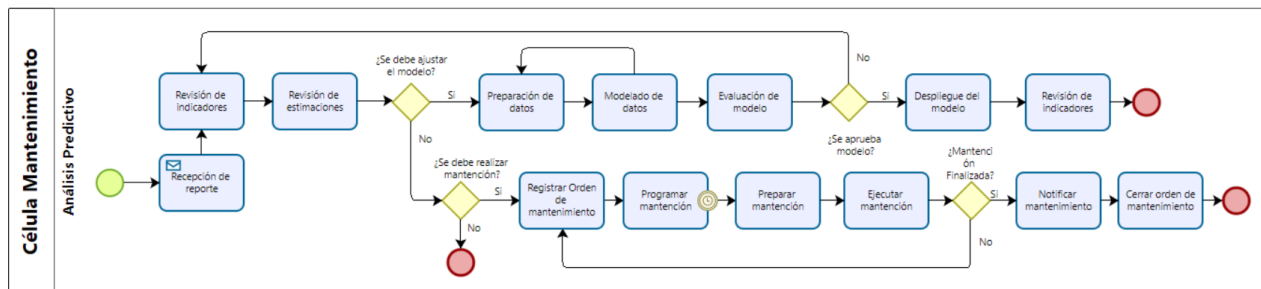


Figura 19. Modelo BPMN – Análisis Predictivo Célula de Mantención.

A continuación, se detalla cada uno de los subprocesos del análisis predictivo propuesto:

- Recepción de reporte, es la actividad inicial para el análisis predictivo y es iniciada con un envío de información por el área de operaciones con alguna novedad en el proceso de laminado.
- Revisión de indicadores, es la actividad donde se evalúan el reporte anteriormente enviado por operaciones y se compara con los indicadores actuales de los sensores.
- Revisión de estimaciones, se realizan distintas estimaciones en base a los datos de los sensores, modelos predictivos y juicio experto del equipo de mantenimiento. Esta actividad debe terminar con una recomendación de revisión del modelo (si o no).

- Preparación de datos, se obtienen los datos según los ajustes encontrados en el proceso anterior, obteniendo el nuevo set de datos y preparándolos para su utilización. Se detallará en el siguiente punto.
- Modelado de datos, se construye un modelo predictivo de fallas en base a los datos de los sensores y fallas registradas. Se detallará en el siguiente punto.
- Evaluación de modelo, se evalúa el modelo predictivo construido y se compara resultados con el anterior.
- Despliegue del modelo, se realiza el cambio del modelo anterior por el nuevo modelo, modificando el prototipo web creado.
- Revisión de indicadores, es la actividad donde se evalúan el reporte anteriormente enviado por operaciones y se compara con los indicadores del nuevo modelo.
- Registrar orden de mantenimiento, se registra en SAP la orden para realizar una mantención la cual será programada.
- Programar mantención, según la estimación de tiempo que arroje el análisis de la sección del laminador con novedades o fallas.
- Ejecutar mantención, se realiza la mantención a la sección del laminador con novedades o fallas.
- Notificar mantenimiento, se realiza la notificación a todos los equipos del laminador para tener conocimiento de la mantención realizada.
- Cerrar orden de mantenimiento, se detalla lo realizado en el laminador, quedando registro de la mantención realizada en SAP.

4.5 Diseño de Lógica de Negocios

El objetivo de la lógica de negocios es calcular la probabilidad de que alguna máquina del laminador falle en un tiempo determinado. Para ello se utilizará los datos de sensores del laminador que se encuentran en archivos “.dat” los cuáles tienen todos los registros de los sensores del laminador en un periodo de 5 minutos. Los sensores registran cada 2 milisegundos (0.002 Segundos), y cada archivo tiene un peso de 20 megabytes (MB) cuando el laminador está operativo.

Los archivos de datos tienen información desde enero de 2018. Para el año 2020 se cuenta con 105.120 archivos con un peso de 1 terabyte (TB) de datos. La manipulación de los datos en el formato actual, dificulta su procesamiento, por lo que el rediseño considera una forma distinta para almacenar estos registros.

Para implementar la lógica de negocios se utilizará datos de maqueta para los sensores y detenciones por fallas, de tal manera que se pueda detallar paso a paso la implementación de un modelo de machine learning.

4.5.1 Análisis de datos

Los datos que dispone la empresa para utilizar analítica avanzada son detenciones de fallas y datos de sensores de distintas partes del laminador. Estos datos están registrados desde el año 2018 en adelante.

Los datos de detenciones de fallas tienen como principal función identificar el inicio, fin, duración y tipo de la falla, mientras que los datos de sensores indican la medición de cada tipo en un tiempo de 2 milisegundos.

	Fecha_Inicio	Fecha_Termino	Duracion	Campaña	Tipo	Disciplina	Zona	Equipo	Subequipo	Ocurrencia	Encargado	Responsable	Hecho	Causa	Accion
0	2020-12-31 12:46:34	2020-12-31 13:00:05	00:13:32	Redonda 8. mm	Interrupción	Operacion	Desbaste	Otras Desbaste	Otras Desbaste OPR	Ajuste de interbillet en tren	Ricardo Barros	Ricardo Barros	Barras juntas coble en desbastea	No respeta interbillet y al picotear se levant...	Se picotea en cizalla cvs1 y se levanta cabe...
1	2020-12-31 09:32:54	2020-12-31 09:46:20	00:13:27	Alm 5.5 mm	Interrupción	Operacion	Zona de rollos	Carro Extraccion y Pesaje	Conjunto	Etiqueta trabada en impresora	Ricardo Barros	Francisco Acevedo	Se detiene secuencia de etiquetado	Etiqueta trabada	Se retira etiqueta y se normaliza secuencia de...
2	2020-12-31 06:10:23	2020-12-31 06:13:44	00:03:22	Alm 5.5 mm	Interrupción	Operacion	Linea de alambren	Traslacion Block-CAESP	Traslacion Block-CaesP	cabeza choca en traslacion	Emerson Pinto	Ricardo Mena	Se tira una barra	Acomodo de tapa chica	Continua secuencia
3	2020-12-31 05:10:27	2020-12-31 06:07:47	00:57:21	Alm 5.5 mm	Interrupción	Operacion	Linea de alambren	Traslacion Block-CAESP	Traslacion Block-CaesP	cabeza choca en traslacion	Emerson Pinto	Ricardo Mena	Punta de barra choca en traslacion llegando a...	Se presume que barra choca en traslacion	Se saca barra de linea y se continua secuencia
4	2020-12-31 03:27:57	2020-12-31 03:41:12	00:13:16	Alm 5.5 mm	Interrupción	Operacion	Zona de rollos	Colector de espiras	Conjunto	Cabeza queda en colector	Emerson Pinto	Jose San Martin	Cabez queda en colector	Cabeza llega estirada a colector y no pasa	Se evacuan rollos del camino

Figura 20. Detenciones por fallas al proceso de laminado.

Para utilizar los datos de los sensores es necesario, aplicar el apoyo tecnológico que se propone en el capítulo 5, por lo que se utilizara datos de maqueta para ejemplificar los pasos a desarrollar.

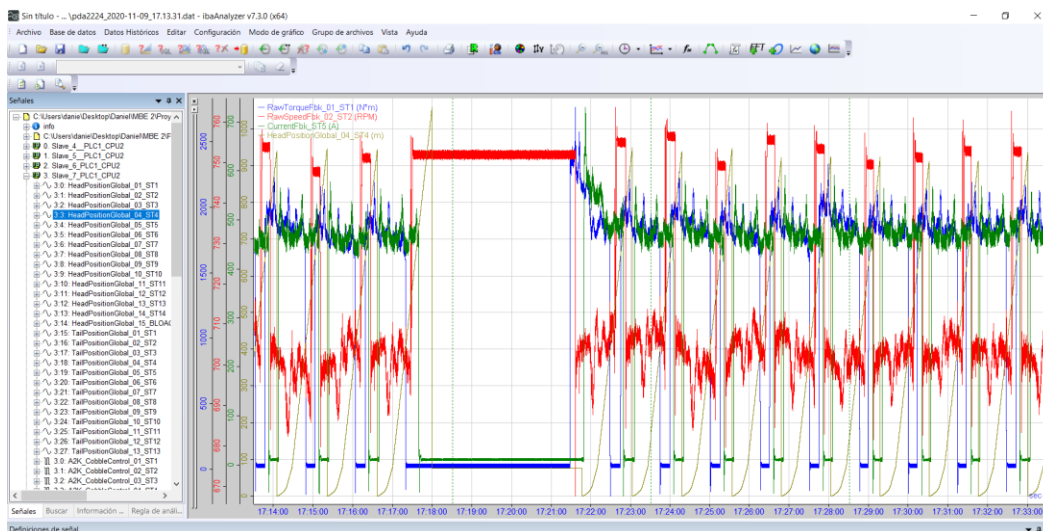


Figura 21. Datos de sensores en software ibaAnalyzer.

Se utilizarán datos para sensores de voltaje, rotación, presión y vibración. Cada uno de estos sensores tendrá un registro con la fecha y hora de la medición, el Id de maquina al que corresponde y la medición del sensor.

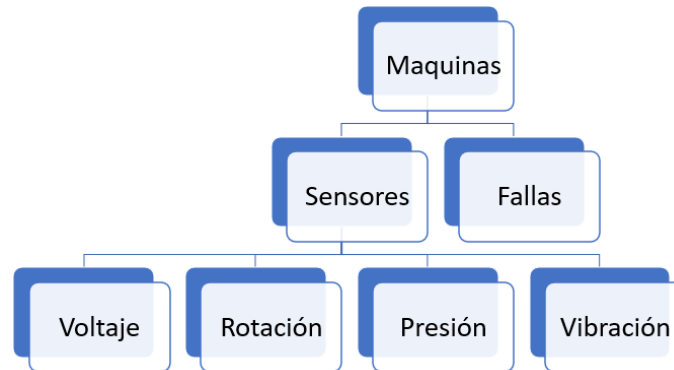


Figura 22. Esquema de datos de sensores y detenciones por fallas.

Sensores						
	Fecha Hora	ID Maquina	Voltaje	Rotacion	Presion	Vibracion
876093	2016-01-01 00:00:00	100	168.740039	439.484112	103.158233	47.289000
876094	2016-01-01 01:00:00	100	162.742669	481.253908	101.589735	44.382754
876095	2016-01-01 02:00:00	100	179.438162	395.222827	102.290715	50.771941
876096	2016-01-01 03:00:00	100	189.617555	446.207972	98.180607	35.123072
876097	2016-01-01 04:00:00	100	192.483414	447.816524	94.132837	48.314561
876098	2016-01-01 05:00:00	100	165.475310	413.771670	104.081073	44.835259
876099	2016-01-01 06:00:00	100	171.336037	496.096870	79.095538	37.845245

Maquinas			
ID_Maquina	Componente	Antiguedad	
96	97	model2	14
97	98	model2	20
98	99	model1	14
99	100	model4	5

Fallas			
	Fecha_Hora	ID_Maquina	Falla
757	2015-12-14 06:00:00	99	comp4
758	2015-02-12 06:00:00	100	comp1
759	2015-09-10 06:00:00	100	comp1
760	2015-12-09 06:00:00	100	comp2

Figura 23. Ejemplo de valores de datos de sensores y detenciones por fallas.

4.5.2 Preparación de datos

Para preparar los datos, el primero paso es verificar la calidad y cantidad de datos que se disponen. Para ello es importante identificar datos nulos o sin información y los outliers que pueden tener el dataset. Para el caso de los datos de sensores reales

no se tiene valores nulos o sin información, pero si existen algunos periodos donde no se registró actividad debido a detenciones del laminador. Para los datos de muestra tampoco existen esta falta de información y en caso de existir datos nulos o valores atípicos se debe aplicar alguna técnica como eliminar, imputar o utilizar modelos estadísticos.

Una vez que se tenga el dataset a utilizar se comienza con la preparación de los datos con los siguientes pasos:

- Formatear las variables de fecha en datetime.
- pivotar datos, seleccionando intervalos de tiempo (3 horas, 1 día, una semana, etc.) para calcular medidas agregadas como media, desviación estándar, máximo y mínimo.
- Unir las distintas medidas agregadas en un dataset combinando los resultados y eliminando los duplicados de ID de máquinas y fechas.
- Construcción de Variable Objetivo, en base a un periodo de tiempo antes de la falla, etiquetando los registros que estén dentro del tiempo escogido como fallidos. Estos registros son obtenidos de una tabla con todas las incidencias, clasificadas por tipo de falla, similar a las incidencias del laminador que se obtienen desde los registros de falla que generan los operadores.

Para el caso de AZA se debe usar un modelo de clasificación de múltiples clases para predecir las detenciones por fallas debido a problemas mecánicos. El tiempo determinado será muy relevante para el modelo ya que depende de esto si necesitamos predecir las fallas en minutos, horas, días o semanas.

Para la simulación se consideró la muestra de 860.000 aprox. mediciones de los distintos sensores, con cerca de 700 detenciones por fallas, muy similar a las fallas mecánicas que tiene AZA.

También es necesario realizar un análisis de correlación ya que afecta el desempeño de los métodos a utilizar. Se recomienda eliminar las variables con una correlación mayor al 70%, aunque esto dependerá del modelo escogido.

4.5.3 Modelado de datos

Una vez que los datos están preparados se dispone a dividir el dataset en grupos de entrenamiento, validación y testeo. Para modelos predictivos se utiliza un punto determinado de tiempo para dividir la muestra en conjunto de entrenamiento y pruebas. Desde el inicio de los datos hasta el punto seleccionado será de entrenamiento y el restante será el conjunto de pruebas. Las proporciones de los conjuntos entrenamiento-pruebas suelen estar entre 70-30 a 80-20.

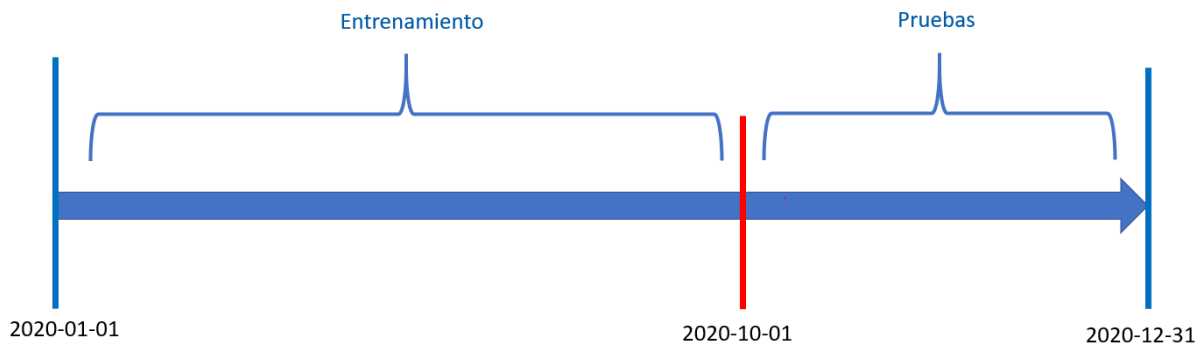


Figura 24. Conjuntos de entrenamiento y pruebas.

Con los conjuntos de entrenamiento y pruebas separados, se comienza con el modelado de datos según los algoritmos que se utilizaran. Para este problema de clasificación se utilizó árboles de decisión y variantes de este como Boosting y XGBoost, ya que realizan predicciones basándose en la tendencia hacia un resultado concreto.

Es importante ir evaluando el modelo escogido, para identificar la importancia de las características de acuerdo a cada modelo, evitando un posible sobreajuste. Para esto existen varias técnicas de selección de variables como Correlación Pearson, Chi-Square, Selección hacia adelante, Eliminación recursiva, entre otras.

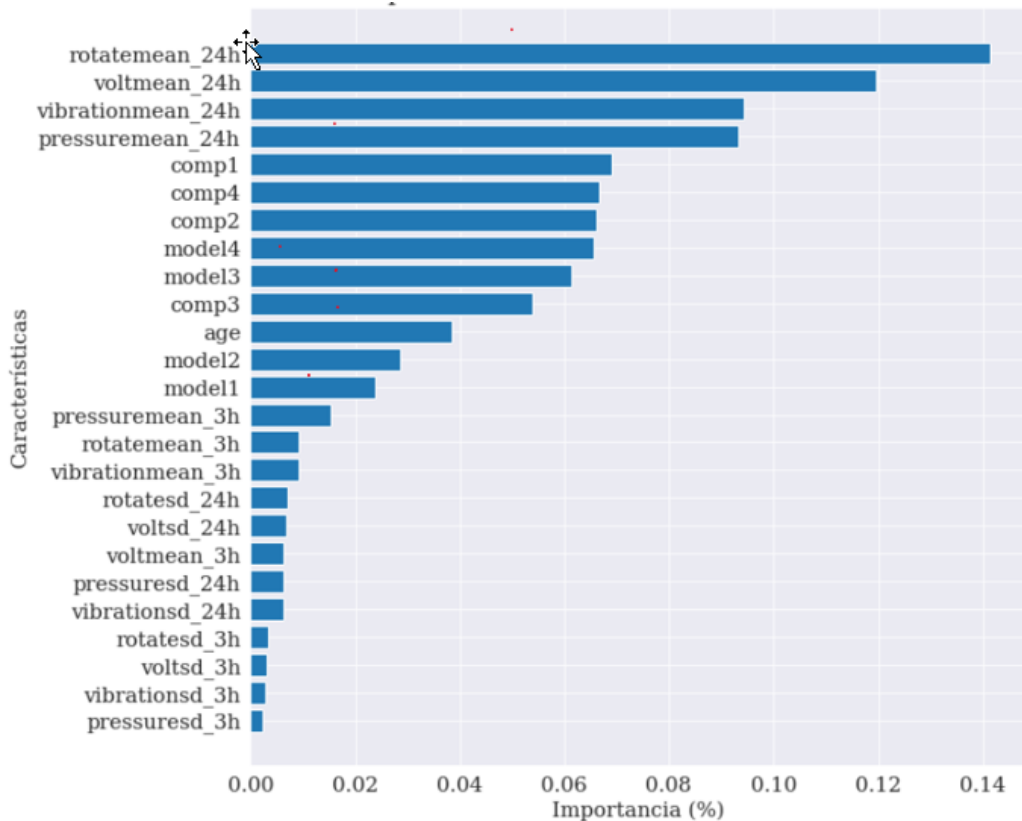


Figura 25. Importancia de características del modelo XGBoost.

4.6 Resultados obtenidos

Utilizando los métodos Árboles de decisión, Gradient boosting y XGBoost, para los datos maqueta que simulan los datos de sensores del proceso de laminación, se obtuvieron los mejores resultados para el método XGBoost. Los tres algoritmos utilizados operan bajo la lógica de árboles de decisión, siendo XGBoost una variante que predice los errores de árboles anteriores para hacer una predicción final. Para escoger a este método fue determinante la importancia de las variables, ya que los otros métodos, asignaron más importancia a variables que indicaban la falla de los componentes según la edad y el tiempo de la última facha de mantenimiento, mientras que el método XGBoost proporciono la importancia en los promedios de los valores de sensores en 3 y 24 horas, encontrando relación en los pequeños cambios que se producen en estos periodos.

Una vez elegido el modelo se continuo con eliminación de variables, cambios en los conjuntos y modificación de parámetros del algoritmo.

Los resultados del conjunto de entrenamiento, muestran una matriz de confusión con un sobreajuste para la clase que no falla y se debe al desbalanceo de las clases, ya que la cantidad de veces que no falla el laminador es desproporcional a las ocurrencias de falla.

Matriz de Confusión Normalizada

	comp1	comp2	comp3	comp4	none
comp1	0.86	0.03	0.0	0.01	0.09
comp2	0.0	0.95	0.0	0.01	0.05
comp3	0.0	0.0	0.88	0.01	0.12
comp4	0.02	0.04	0.0	0.91	0.04
none	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
True label	comp1	comp2	comp3	comp4	none
	Predicted label				

Figura 26. Matriz de confusión

Es importante recalcar que no se tomó como referencia los valores de accuracy ya que los datos están desbalanceados, siendo los valores de precisión y recall buenos

indicadores de calidad de la predicción, ya que trabajan en base a lo que queremos que ocurra, indicando sobre la cantidad que el modelo puede identificar.

	none	comp1	comp2	comp3	comp4
accuracy	0.996152	0.996152	0.996152	0.996152	0.996152
precision	0.998742	0.823353	0.875208	0.890909	0.879310
recall	0.997846	0.859375	0.946043	0.875000	0.910714
F1	0.998294	0.840979	0.909248	0.882883	0.894737
macro precision	0.893505	0.893505	0.893505	0.893505	0.893505
macro recall	0.917796	0.917796	0.917796	0.917796	0.917796
macro F1	0.905228	0.905228	0.905228	0.905228	0.905228
average accuracy	0.998461	0.998461	0.998461	0.998461	0.998461
micro-averaged precision/recall/F1	0.996152	0.996152	0.996152	0.996152	0.996152
majority class accuracy	0.981303	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Figura 27. Resultados de la evaluación por clase de componentes.

Para evaluar la calidad del modelo con clases desbalanceadas se utiliza la curva de precisión-sensibilidad, ya que es necesario saber qué porcentaje de fallas se puede identificar con el modelo o en otras palabras qué porcentaje de las fallas es capaz de identificar.

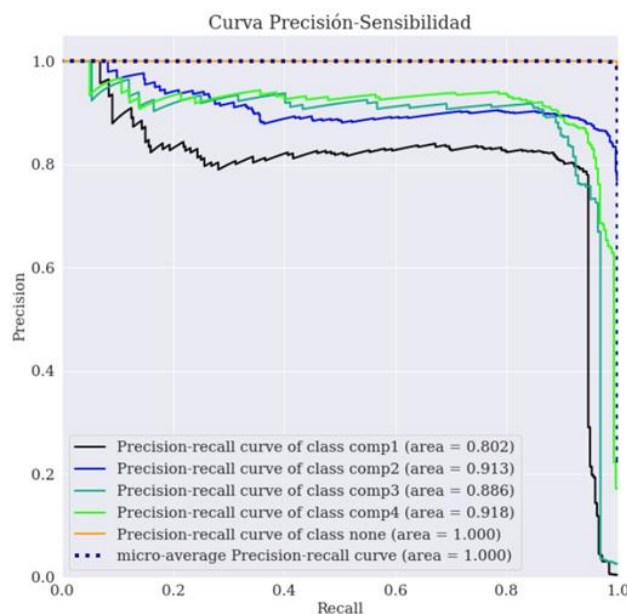


Figura 28. Curva de precisión-sensibilidad.

De la figura 28, se pueden identificar los vectores de precisión, sensibilidad y sus umbrales para esos valores, donde se aprecia que las distintas clases van en dirección a la esquina superior derecha la que representa un clasificador perfecto. En los modelos en que las clases son desbalanceadas no se toma en cuenta los falsos negativos y es por esta razón que se utilizan la precisión y sensibilidad ya que estos indicadores se preocupan de las clases positivas, las que son minoritarias.

Para etiquetar los errores se definieron ventanas de tiempo antes de la detención por falla, etiquetando los registros de esas ventanas de tiempo como "antes de la falla" y el resto de los registros como "ejecución normal". Las ventanas de tiempo utilizadas son de 3 y 24 horas.

Con el modelo entrenado se espera evaluar los datos de los sensores en línea para indicar la probabilidad de que las mediciones estén dentro de los intervalos de tiempo con la etiqueta "antes de la falla".

CAPITULO 5. PROPUESTA DE APOYO TECNOLÓGICO

5.1 Arquitectura Tecnológica

Actualmente la información de los sensores viaja vía PLC hasta los distintos servidores ibaPDA, los cuales generan archivos .dat que contienen 5 minutos de mediciones con registros cada 2 milisegundos y son visualizados mediante el software IbaAnalyzer. Para utilizar los registros de los archivos .dat, se implementará una actualización de licencia al software, la cual permita manipular los archivos .dat, enviando los registros a una base de datos, lo que soluciona el problema de la manipulación de los archivos .dat presentado en el capítulo 4, permitiendo acceder a la información de los sensores y realizar analítica avanzada para lograr generar algoritmos predictivos. Estos algoritmos serán utilizados por un prototipo web de sistema de gestión de control.

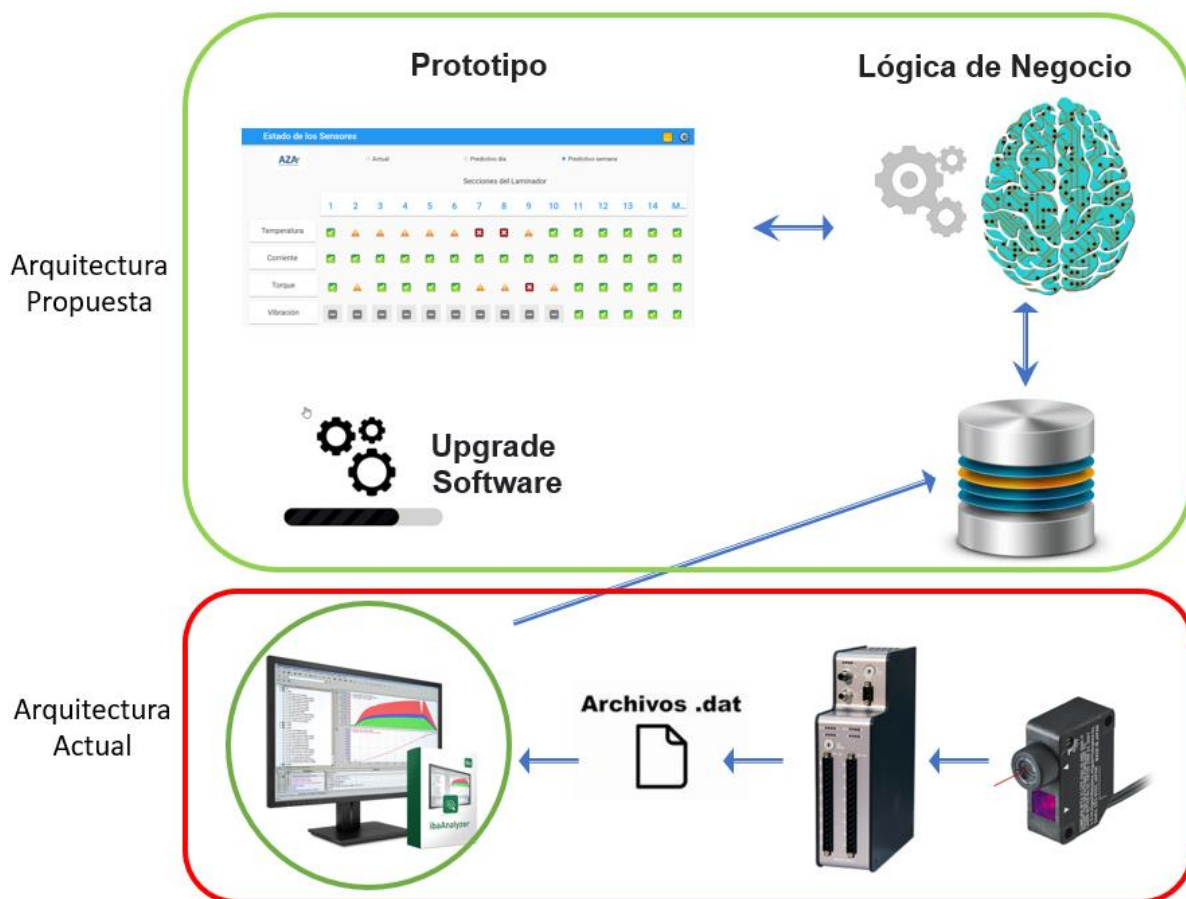


Figura 29. Arquitectura actual y propuesta para el proyecto.

5.2 Prototipo Funcional Desarrollado

Para el modelo predictivo se utilizó jupyter notebook con lenguaje de programación Python y el prototipo web fue desarrollado en el mismo lenguaje de programación con la herramienta de desarrollo LowCode anvil work.

El proyecto implica realizar visualización de datos, realizando mediciones de estos para gestionarlos, por lo que se necesita un dashboard con opciones de vista actual de los sensores, permitiendo ver en tiempo real alguna anomalía, además de ver su disponibilidad en caso de alguna falla, ya sea en los sensores o en la maquinaria que estos miden.

También se realizará un dashboard que permita tomar decisiones en relación a las mantenciones, considerado una vista predictiva a 24 horas y vista predictiva a 7 días de posibles detenciones por fallas mecánicas.

El dashboard contiene cuatro estados de los sensores, mediante los cuales se pretende informar al área de laminación colina el estado de cada uno de los distintos sensores del laminador.



Figura 30. Estado de los sensores del prototipo.

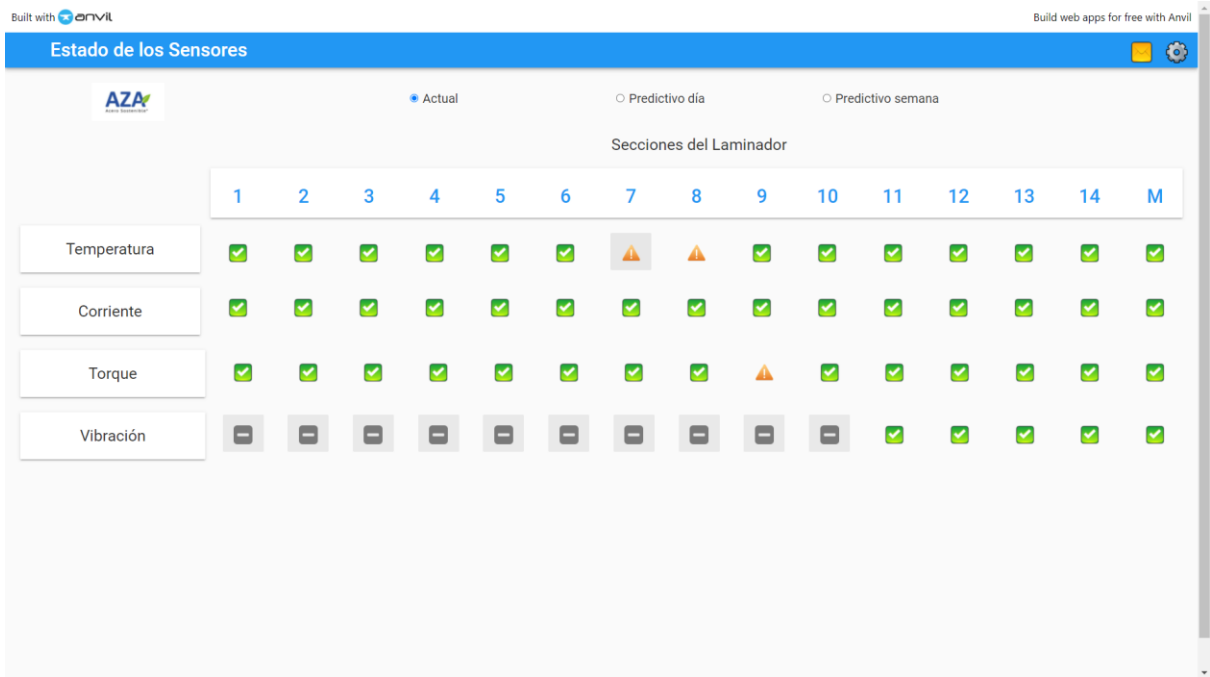


Figura 31. Dashboard principal con estados de los sensores.

Al seleccionar un sensor desde la vista principal, se presentará los valores de este para realizar un análisis más detallado, indicando el estado actual, los últimos cambios de estado, los cambios de estado en el último periodo, un gráfico en tiempo real y valores estadísticos del sensor.

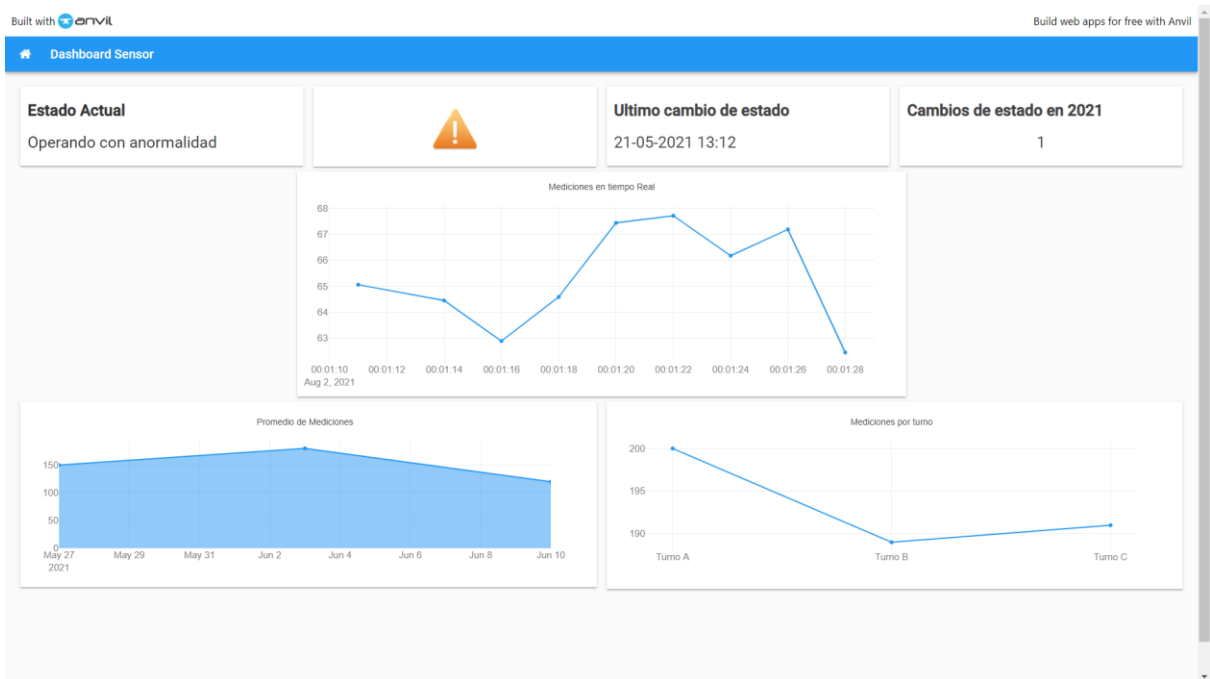
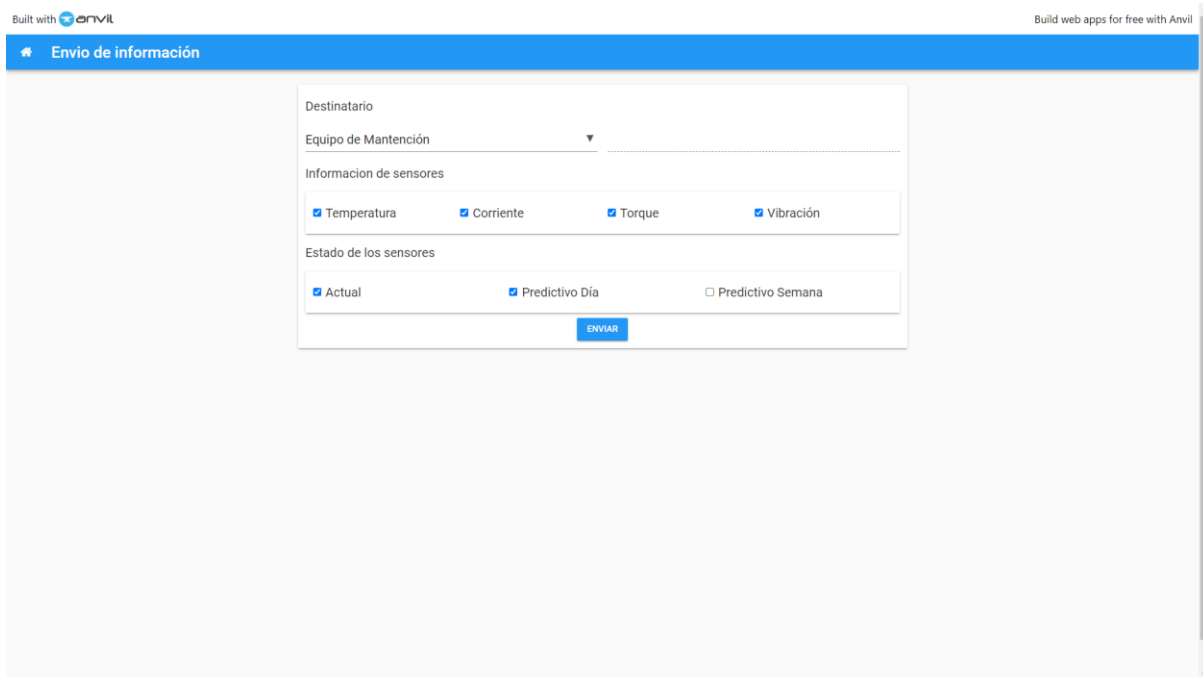


Figura 32. Estado de un sensor del laminador.

Dentro de las funciones que debe tener este prototipo, se desarrolló un envío de información para ser analizada mediante un formulario, el cual permite seleccionar el tipo de información que se enviará y el grupo o destinatario de esta información, la cual será enviada vía correo.




The image shows a web application interface for sending information. At the top, there is a blue header with the text "Envío de información". Below the header, the form is contained within a white box. The form has the following sections:

- Destinatario:** A dropdown menu with "Equipo de Mantenición" selected.
- Información de sensores:** Four checkboxes are checked: "Temperatura", "Corriente", "Torque", and "Vibración".
- Estado de los sensores:** Three checkboxes are visible: "Actual" (checked), "Predictivo Día" (checked), and "Predictivo Semana" (unchecked).
- ENVIAR:** A blue button at the bottom right of the form.

Figura 33. Formulario de envío de información.

También se creó un formulario para configurar el envío predefinido de información en el caso de que los sensores presenten cambios de estado. Estos cambios tendrán niveles de escalamientos, diferenciando estos niveles por un tiempo establecido en la configuración, siendo el objetivo de esta configuración, asegurar la gestión de estos cambios de estados.

Actualmente en la empresa no se realiza gestiones sobre los estados de los sensores, donde incluso existen periodos de tiempo donde no existe información, ya que los sensores no estaban disponibles por cortes de energía, y al no existir una figura que sea responsable de los sensores, no fueron disponibilizados.

Built with  Anvil Build web apps for free with Anvil

Envío de información

Segundo Nivel de Escalamiento

Envío de cambios de estado

Eq Mantenición Jefatura Subgerencia

Cantidad de días para cambios de estado

1 día 3 días 5 días 10 días

Tercer Nivel de Escalamiento

Envío de cambios de estado

Eq Mantenición Jefatura Subgerencia

Cantidad de días para cambios de estado

1 día 3 días 5 días 10 días

Información de Sensores

Temperatura Corriente Torque Vibración

Estado de los Sensores

Actual Predictivo Día Predictivo Semana

GUARDAR

Figura 34. Configuración del formulario de envío de información.

Este prototipo es visible desde cualquier dispositivo que pueda acceder a internet desde un navegador, y fue pensado para proyectarlo en monitores de gran envergadura, donde el área de laminación colina pueda visualizar sin problemas cada estado de los sensores del laminador.

CAPITULO 6. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

La propuesta de implementación se basa en el modelo CHES (Olguin, 2005), donde se indican las principales actividades de la Gestión de Cambio con una mirada integral del liderazgo.

6.1 Contexto organizacional actual y necesidad de cambio

Estratégicamente AZA quiere comenzar a implementar los avances tecnológicos que otras industrias ya manejan, como lo son la Integración de sistemas, computación en la nube y Big Data Analytics, para comenzar con la adopción del enfoque estratégico de Industrias 4.0.

La cultura organizacional de AZA para el proceso de laminación de acero es realizar mantenimiento reactivo, es decir, que al ocurrir algún desperfecto en este proceso de se activa la célula de mantención para dar continuidad lo más pronto posible al laminador. Este mantenimiento lleva varios años operando de la misma forma.

La célula de mantención realiza mantenciones al laminador por periodos de tiempo definidos con la finalidad de preservar la operatividad del laminador y sus distintas componentes y secciones, agregando algunas mantenciones a juicio experto por algún evidente desperfecto en alguna sección en particular.

Se propone con el proyecto ampliar las capacidades del equipo de mantención para migrar a un mantenimiento predictivo, basando la predicción de las fallas o posibles detenciones en los datos que se tienen de los distintos sensores del proceso de laminación.

El rediseño será implementado en el área de Laminación Colina, donde trabajan 89 personas. Esta área está conformada de la siguiente forma:

- Dirección de Laminación: Se conforma por la jefatura de laminación, un asesor técnico y un ingeniero trainee para gestionar y controlar la laminación de acero.
- Célula de Operación: Corresponde al personal de los 3 turnos encargados de manejar todos los equipos de producción del laminador.
- Célula de Soporte Operacional: Corresponde al personal de equipo de cambio y alineación de la línea de laminación.
- Célula de Mantenimiento: Son cargados del mantenimiento de todos los equipos del laminador colina donde trabajan eléctricos, electrónicos y mecánicos.

6.2 Liderazgo y gestión del proyecto de cambio

El proyecto tendrá actores relevantes para su implementación. Para ello es importante la distribución de estos y sus roles dentro del cambio propuesto.

Stakeholders	Cargo	Nombre
Sponsor	Gerente Operaciones	Andres Barrientos
	Jefe Laminacion Colina	Rolando Barrera
Garante	Jefe de Procesos	Felipe Mela
	Jefe Soporte Operacional	Martin gutierrez
Agente de Cambio	Jefe de Mantenimiento	Yuliano Reyes
	Asesor técnico	Fernando Jaramillo
	Ingeniero Trainee	Camila Devia
	Memorista (Externo)	Daniel Burgos
Champion	Mecánicos de Mantenimiento	Luis Loaiza
		Jorge Donoso
		José Vejar
		Juan Carlos Gutiérrez
		Pedro Reyes
		José Gutierrez
		Fernando Ovalle
		Vicente Muñoz
Target	Célula de Mantenimiento	27 personas

Figura 35. Actores y roles del cambio en el área de laminación.

6.3 Cambio y conservación

Actualmente Aza trabaja con un equipo para la mantención reactiva, la cual se debe conservar debido a la importancia del proceso y la pérdida de recursos monetarios cuando el laminador este detenido. Este equipo es el principal target del cambio ya que se espera cambiar su trabajo diario de reparar el laminador a predecir que puede provocar daños en este. Este equipo puede proporcionar una mirada experta del comportamiento de cada uno de los componentes del laminador, lo que puede generar una sinergia aportado gran conocimiento para el análisis de las fallas.

Aza tiene practicas diarias, semanales y mensuales que facilitan el envío de información desde la estrategia hasta la operatividad. De esta forma se pretende

informar los detalles del cambio en sus inicios, medir los avances cuando este en etapa de implementación y utilizar estas prácticas para agregar KPI relevantes del cambio, utilización de sensores y datos en la estrategia de mantenencias predictivas.

6.4 Prácticas para el cambio

Para asegurar el éxito del proyecto se generarán prácticas que apoyarán el cambio en la institución, facilitando el entendimiento y el contexto en el que se pretende generar este cambio.

6.4.1 Visualización de datos de sensores

Visualizar la información de los datos actuales de los sensores y las estimaciones futuras es una aplicación web que estará al alcance de todos, la cual se proyectará en un monitor, junto al monitor de video en tiempo real que muestra las distintas secciones del laminador. La ubicación que tienen estos monitores es ideal para sensibilizar a todo el equipo de laminación Colina lo que está pasando con el laminador.

Los datos que se visualizaran son los estados actuales de los sensores y los estados futuros según la predicción de los modelos de machine learning. Es importante indicar que si un sensor pasa de un estado normal a un estado anormal, esto será visualizado en el monitor y no cambiará de estado hasta que vuelva a su estado normal.



Figura 36. Lugar de visualización de indicadores en laminación Colina.

6.4.2 Revisión de indicadores de sensores de primer nivel

En la reunión diaria que se inicia a las 8:00 horas, se revisan interrupciones del día anterior, ritmo de la producción y campañas del día a ejecutar. Se pretende que en esta instancia se revisen los indicadores de los sensores, los cambios de estados de estos y las posibles fallas que predice el modelo de machine learning.

6.4.3 Revisión de indicadores de sensores de segundo nivel

En la reunión de comité semanal, se espera que puedan presentar los cambios de estados más complejos o de alta importancia de los sensores y las posibles fallas que predice el modelo de machine learning. En esta reunión se espera alinear las estrategias para abordar las problemáticas de prioridades sobre los distintos indicadores de los sensores.

6.4.4 Revisión de indicadores de sensores de tercer nivel

En la reunión de área que se realiza cada un mes, se pretende entregar resultados de los distintos tipos de cambios de los sensores y las tendencias que proporcionan las predicciones del modelo. Se espera instaurar una práctica en esta reunión que sensibilice a toda el área con el proyecto, para que puedan en conjunto como área, mostrar los cambios y beneficios que este tiene para la organización.

6.5 Evaluación y cierre

El proyecto se inicia cuando comienzan los trabajos para disponibilizar los datos, para luego ser gestionados, pero el proceso de cambio inicio cuando se decidió realizar esta tesis, ya que fue el puntapié inicial para comenzar a digerir los datos del proceso de laminación, los cuales hasta el inicio de la tesis solo eran observados en el momento que se registraban, y solo con el fin de observar errores en el momento de producción de acero. En resumen, el cambio inicio cuando se comenzó a mirar los datos del pasado para predecir las futuras fallas del proceso de laminación.

Cuando los datos estén disponibles para su gestión comienza el segundo hito dentro del rediseño, que tiene como objetivo mostrar los registros de los sensores, los que pueden proporcionar información valiosa para el proceso de laminado. Este hito tendrá una evaluación para indicar la calidad de los datos y hacer los cambios necesarios, los que podrían llevar a una estandarización de datos, aumentar la cantidad y tipos de sensores para las diferentes secciones del laminador, para poder indicar las posibles fallas de este proceso.

El tercer hito está relacionado a la obtención de información relevante desde los datos, para lograr encontrar patrones que indiquen una posible detección de falla de tipo mecánica. Este hito tiene importancia para lograr implantar una cultura predictiva dentro de la organización basada en los datos de los sensores. Si este hito no puede ser cumplido será necesario reevaluar los antecedentes que se tienen de los errores y de los datos de los sensores, volviendo con el entendimiento de negocio y la comprensión de los datos. Este punto será iterativo y puede ser el más crítico del proyecto.

Una vez que se puedan establecer relaciones con los datos de los sensores y las detenciones de tipo mecánicas, se comenzara con la aplicación de distintos modelos

predictivos para evaluar su comportamiento en relación a las variables que se tienen de los sensores y las fallas. En este punto se busca que el área de laminación ya este interiorizado con el proyecto y puedan aportar con la experiencia en las fallas de este tipo y se pueda determinar una relación con los algoritmos creados en base a los datos. Este hito también será iterativo hasta llegar a un valor razonable de predicción de fallas. Ocurriendo lo anterior, se podrá dar por finalizada la etapa de implementación del proyecto, ya que desde este punto en adelante se comenzará con una búsqueda continua por mejorar los modelos, la que se espera sea extensible en el tiempo, indicando que la gestión del cambio ha sido exitosa.

CAPITULO 7. EVALUACIÓN DEL PROYECTO

7.1 Evaluación Técnica

Debido a la dificultad de procesar los datos de los archivos .dat, no fue posible generar un piloto, por lo que se utilizó datos de sensores similares, para comprobar si es posible procesar los datos y entrenar modelos que sean capaces de predecir las fallas de tipo mecánicas. Los datos utilizados fueron en base a distintos tipos de sensores, máquinas y componentes, además de datos con fallas anteriores, similar a lo que se tiene a AZA.

Con los datos se espera etiquetar los registros de los sensores y marcar los que están dentro de un tiempo acotado, anterior a la falla para etiquetar como “antes de la falla” y el resto de los registros serán del flujo normal. Al realizar esta etiqueta se podrá entrenar los modelos para identificar la probabilidad de que los registros de los sensores en línea pueda ser una posible falla de tipo mecánica.

Para predecir la falla se espera evaluar una nueva medición de sensores en línea con los modelos generados, los cuales serán entrenados con datos de sensores y de fallas histórica que se tiene.

7.2 Evaluación Económica

Para la evaluación económica del proyecto se utilizará un prototipo de modelo de machine learning con datos ficticios simulando lo que se espera obtener con la implementación del proyecto y sus datos reales. Se utilizaron datos similares a los que posee la institución, modelando un algoritmo capaz de obtener un 85% de precisión en la detección de fallas el cual fue presentado en el capítulo 4. Para los cálculos de costos y beneficios se utilizará la estimación que se espera lograr en el primer semestre de puesta en marcha el proyecto, la cual es de un 70% de precisión en la detección de fallas tipo mecánicas.

7.2.1 Definición de Beneficios

Las detenciones al proceso de laminación basadas en fallas mecánicas representan un 18% del tiempo total anual que está detenido el laminador y un 11% de ocurrencia de falla en el mismo periodo. El laminador permaneció detenido en el año 2020 un total de 874 horas, de las cuales 159 fueron causa de fallas mecánicas.

El margen de ganancia de cada tonelada es de 70 dólares, por lo que el beneficio de este proyecto se traduce en cuantas toneladas se pueden producir reduciendo las detenciones por este tipo de fallas.

Para el cálculo del beneficio se deberá contemplar las horas que no se detendrá el laminador ya que se pudo predecir a tiempo una detención. Se espera que, de las 159 horas, el 70% se pueda predecir, lo que generaría 111 horas más para producción de acero. Junto con una reducción de horas por detención, también se espera un aumento a las horas de mantención del laminador en un 15%.

Actualmente las horas de mantención semanales son de 5 horas promedio, más una mantención anual de 15 días, lo que da como resultado en un año 610 horas por este concepto. Se espera un aumento en las horas de mantenciones semanales, las que actualmente son 250 horas anuales a 288 en el mismo periodo.

Por lo tanto, el aumento de las horas de producción se verá reflejado de la siguiente forma:

Detalle	Sin Rediseño	Con Rediseño
Detenciones por fallas mecánicas	159	48
Mantenciones semanales	250	288
Totales Horas de detención	409	335

Figura 37. Distribución de horas de detención.

Las horas de detención que el rediseño podría para a horas de producción sería 74, lo que generaría 3.922 toneladas de acero.

7.2.2 Definición de costos

El Costo Fijo del Laminador es de 50 dólares el minuto y en cada hora de detención se deja de producir 53 toneladas de acero. El Costo Fijo no será incluido en los cálculos ya que este valor se debe pagar se produzca o no material.

El rediseño contenla un nuevo rol dentro de la célula de mantención, por lo que es necesario contemplar el costo al contratar a un Data Scientist.

Para la implementación del proyecto es necesario considerar la licencia del software ibaAnalyzer, el cual tendrá la función de procesar los datos almacenados en archivos .dat, enviado la data histórica y la más reciente a una base de datos.

La base de datos también es un costo del proyecto y forma parte de la nueva infraestructura que se pretende lograr. El modelo de base de datos que necesita el proyecto es NoSQL (No relacional) ya que existen diferentes tipos de sensores los cuales registran un gran volumen de datos cada 2 milisegundos. También se debe considerar que el número de sensores crecerá con el tiempo para monitorear todo el proceso de laminado del acero.

Con los datos de los sensores en la base de datos se deben desarrollar modelos de datos capaz de predecir la ocurrencia de falla de las secciones del laminador en

distintos periodos de tiempo. Para esto el proyecto debe considerar este desarrollo con una empresa externa especialista en generar modelos predictivos.

Para la visualización del modelo de machine learning y del estado actual de los sensores del laminador será necesario el desarrollo de un software de gestión de control. Este software tendrá la capacidad de utilizar el o los modelos de machine learning que se creen para los distintos tipos de predicciones, ya sean diarias o semanales, además de una visualización la línea del estado actual de cada sensor.

7.2.3 Análisis costo beneficio

Con la identificación del beneficio del proyecto basado en el aumento de la producción anual y los costos del proyecto se puede determinar los siguientes ítems con sus respectivos valores expresados en dólares:

Detalle	Valor
Estimación de toneladas de acero producidas con el rediseño	274.540
Licencia Software ibaAnalyzer-V7-DB	-2.786
Data Scientist x 12 meses	-25.641
Infraestructura Base de datos	-10.256
Desarrollo de Machine learning	-20.000
Desarrollo de aplicación web para visualización y monitoreo de datos	-18.000
Totales	197.857

Figura 38. Beneficio y costos del proyecto.

El aumento de la producción de acero proporcionaría una ganancia de 197.857 dólares anual para la empresa en el primer año. Cabe mencionar que para los próximos años no se tendrá la inversión de los valores por concepto de infraestructura, licencias y desarrollo de software, quedando solo por concepto de mantenimiento de los modelos de machine learning la dependencia de Data Scientist.

También se debe considerar que se estima un aumento en la predicción de fallas con el transcurso del tiempo, lo que incrementaría las horas de producción, por ende, también se espera un aumento en el beneficio.

CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

8.1 Conclusiones del proyecto

El proyecto contempla el inicio para comenzar a trabajar en modelos predictivos utilizando datos que la empresa ya tiene, pero que no ha explotado. De esta manera se pretende rediseñar el proceso de mantención del laminado del acero, agregando valor a los datos que se tienen, convirtiéndolos en una fuente de información para detectar fallas de tipo mecánicas. Esto significara un cambio en el modelo de mantenciones correctivas que actualmente se realizan, para pasar a un modelo de mantenciones predictivas, el cual buscara minimizar las perdidas por detenciones en la producción de acero, relacionadas a fallas de tipo mecánicas.

El prototipo implementado de sistema de gestión que utiliza modelos de machine learning con datos similares a los de AZA, demostró que es factible utilizar los datos de los sensores mezclados con la información de los incidentes que ya se tienen registrados. Se espera que con los datos de los sensores y las detenciones de tipo mecánicas se pueda obtener un resultado mayor al 70% de acierto a la probabilidad de anticipar una falla en las 3 y 24 horas anteriores a que se produzca la detención. Esto se logró etiquetando las mediciones anteriores a una detención con periodos de 3 y 24 horas como “Antes de la falla” y el resto de mediciones se etiquetaron como “operación normal”. Lo que se busca es entrenar modelos para evaluar en línea si los sensores detectan una similitud con los datos de los periodos históricos anteriores a una falla, para indicar que posiblemente se producirá una detención por falla mecánica en los periodos de 3 y 24 horas siguientes a la medición.

El área de laminación deberá incorporar nuevos roles dentro de su proceso productivo, para mantener los modelos de machine learning actualizados y crear nuevos modelos, más precisos y con intervalos de tiempo mayor como por ejemplo una semana, 15 días y un mes.

Los cambios que se realizaron a nivel tecnológico para aumentar los datos que se miden y avanzar con la manipulación de los datos que se obtienen desde los archivos .dat son los siguientes:

- Implementación de sensores de vibración *HS-180S Premium Accelerometer*. Se implementaron nuevos sensores de vibración al tren medio, los que se suman a los sensores ya existentes.
- Actualización de Licencia ibaAnalyzer-DB para extracción a bases de datos. Se actualizaron los servidores de iba para implementar una nueva licencia que es capaz de leer los archivos .dat y enviarlos en línea a una base de datos. Esto permitirá la manipulación de los datos de desde una base de datos.
- Creación de Base de datos SQL para almacenamiento de mediciones.

Se creó la base de datos “*predictivoLamcol*” con la estructura necesaria para almacenar toda la información de los sensores, con el objetivo de facilitar la conexión a los distintos softwares para evaluar en línea la probabilidad de falla, utilizando los modelos que se crearan con los datos históricos desde el año 2018 a la fecha.

8.2 Recomendaciones para trabajos futuros

Si el proyecto tiene éxito se puede comenzar con un cambio gradual para migrar en mayor proporción al mantenimiento predictivo, destinando más recursos a la detección de fallas mediante análisis de datos y ampliando el personal destinado para estas funciones.

El proyecto considero las detenciones por fallas de tipo mecánicas que equivalen al 18% del total de detenciones. Si el proyecto es exitoso, se puede ampliar a otros tipos de fallas, como lo son las Eléctricas-Electrónicas, que tienen el mismo porcentaje de detenciones en un año. Pero más ambicioso sería lograr predecir las fallas de tipo Operación, las que tienen relación con la manipulación humana de laminador, siendo un gran desafío lograr medir este tipo de detenciones.

En la misma línea de los modelos predictivos, se puede extender el conocimiento a otras áreas como la colada continua, donde se generan las palanquillas que utiliza el laminador. En esta área se podría utilizar los datos de la composición química del acero para encontrar patrones en las barras, permitiendo predecir con anterioridad si una barra tendrá problemas de calidad, pudiendo reutilizar el material para crear una nueva palanquilla, sin tener que pasar por el proceso de laminado. Generalmente estos problemas son de elongación de las barras y la dureza de estas, afectando a toda una partida de palanquillas. La información que se tiene para este proceso es desde el 2018 a la fecha.

CAPITULO 9. BIBLIOGRAFÍA

Barros V., Óscar, (2011), Ingeniería de negocios, Diseño integrado de negocios, procesos y aplicaciones TI.

Barros Vera, Óscar, (2000), Rediseño de procesos de negocios mediante el uso de patrones.

Chapman, P., Clinton, J., Kerber, y otros, (2000), CRISP-DM 1.0: Step-by-step data mining guide.

CRISP-DM, (2000), Cross Industry Standard Process for Data Mining.

Franz, P., Kirchmer, M., (2012), Value-Driven Business Process Management: The Value-Switch for Lasting Competitive Advantage

Hax, A., & Wilde D., (2003) The Delta Model, A new frame work of strategy

Jones, D., Womack, P., (2000) Lean Thinking: Cómo Utilizar el Pensamiento Lean Para Eliminar los Despilfarros y Crear Valor en la Empresa

Joyanes, Luis, (2017), Industria 4. 0 la Cuarta Revolución Industrial.

Olguin, E. (2005). CHESS Modelo Integral de Liderazgo y Gestión del Cambio

Villenas, A. (2017). The Lean Journey Canvas

Wirth, R., Hipp, J., (1999), CRISP-DM: Towards a Standard Process Model for Data Mining.

White, S., Miers, D., (2009) BPMN Guía de Referencia y Modelado: Comprendiendo y Utilizando BPMN

