



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PREDICTIVO EN EL
CONTEXTO DE LA INDUSTRIA 4.0 PARA EL MONITOREO DE
VIBRACIONES DE EQUIPOS CRÍTICOS EN LA EMPRESA
CORPORACIÓN ACEROS AREQUIPA S.A.”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
ENRIQUE GUILLERMO MUNAR GUTIÉRREZ**

ASESOR

MG. ING. ROGELIO ALEXSANDER LOPEZ RODAS

LIMA – PERÚ, 2021



DEDICATORIA

A mi familia por apoyarme y darme fuerzas para completar la carrera que tanto esfuerzo costó, a mi esposa por estar conmigo y motivarme siempre y a mi hijo que está por nacer, quien es mi mayor motivación para seguir adelante.





AGRADECIMIENTO

A la empresa Corporación Aceros Arequipa, por darme el apoyo y el tiempo para elaborar el proyecto, a la universidad que me dio la posibilidad de aprender y desarrollarme profesionalmente, en especial para mi asesor, quien me brindo las pautas para realizar este proyecto con calidad, y cualquier otro proyecto que desarrolle en el futuro.





INTRODUCCIÓN

Hoy en día la operación de máquinas industriales es de forma continua, esto es indispensable para que las plantas puedan producir ininterrumpidamente y con calidad. Pero eventualmente las máquinas pueden fallar durante la operación, por lo que es importante realizar acciones periódicas de mantenimiento para aumentar su vida útil o mantener la confiabilidad operacional.

Uno de los tipos de mantenimiento es el mantenimiento predictivo (PdM) o mantenimiento basado en condición (CBM), es aquel en el que se detectan de manera anticipada las fallas, monitoreando variables específicas durante la operación de las máquinas, con la frecuencia necesaria y la tecnología apropiada. Una vez se identifica el potencial de falla, se reporta y se estima el tiempo productivo disponible para planear un paro y realizar las intervenciones necesarias. Este enfoque, tiene como ventajas principales que las intervenciones de mantenimiento, sólo se realizan para los equipos que reportan probabilidad de falla y cuándo se estime conveniente parar, brindando más tiempo de operación eficiente.

Con el avance de la tecnología es posible realizar este tipo de mantenimiento predictivo, complementándolo con el concepto de la industria 4.0, que a manera de introducción se puede comprender como una evolución tecnológica y constante de los sistemas, maquinaria, tecnologías y procesos, utilizando nuevas tecnologías de sensores, internet, comunicación en tiempo real entre máquinas. Obteniendo como resultado una nueva revolución industrial.





RESUMEN

El presente trabajo contempla el desarrollo de un sistema de monitoreo de condición de vibraciones y temperatura para equipos que por su diseño o ubicación, no son posibles de ser inspeccionados, en este sentido es necesario implementar un modelo de mantenimiento predictivo basado en el contexto de la Industria 4.0, que implica la promesa de una nueva revolución que combina técnicas de monitoreo avanzadas con tecnologías inteligentes que integrarán las organizaciones, las personas y los activos.

Esta implementación se desarrollara en las áreas de Laminación y Acería de la empresa corporación Aceros Arequipa S.A. En todos aquellos equipos que están directamente relacionados con los procesos productivo. Con el desarrollo del proyecto será posible implementar estrategias de mantenimiento predictivo, e identificar oportunamente defectos en rodamientos y otros problemas asociados a elementos de engrane, antes de que se produzca la avería, evitando tiempo de inactividad, productiva y costos.

Este modelo de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones, supone un cambio de mentalidad importante en el mantenimiento industrial, a la vez un cambio al modelo conocido hasta el momento y reemplazarlo por el nuevo que integra, la industria del internet de las cosas (IIoT), las redes de sensores, el Big Data, Cloud computing, etc.





ABSTRACT

This work contemplates the development of a vibration and temperature condition monitoring system for equipment that, due to its design or location, is not possible to be inspected, in this sense it is necessary to implement a predictive maintenance model based on the context of the Industry 4.0, which holds the promise of a new revolution that combines advanced monitoring techniques with smart technologies that will integrate organizations, people and assets.

This implementation will be carried out in the Rolling and Steelworks areas of the company Corporación Aceros Arequipa S.A. In all those teams that are directly related to the production processes. With the development of the project, it will be possible to implement predictive maintenance strategies, and timely identify bearing defects and other problems associated with gear elements, before the breakdown occurs, avoiding downtime, production and costs.

This model of predictive maintenance by vibration analysis, supposes an important change of mentality in industrial maintenance, at the same time a change to the model known until now and replace it with the new one that integrates, the Internet of Things (IIoT) industry. , sensor networks, Big Data, Cloud computing, etc.





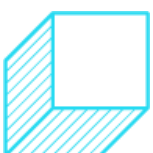
TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES DE LA EMPRESA	1
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	1
1.2. PERFIL DE LA EMPRESA.....	2
1.3. ACTIVIDADES DE LA EMPRESA	2
1.3.1. Misión	2
1.3.2. Visión.....	3
1.3.3. Objetivo	3
1.4. ORGANIZACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	3
1.5. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE LA EMPRESA.....	5
1.5.1. Análisis FODA	5
1.5.2. Comité de auditoría y riesgos	8
1.5.3. Comité de nombramientos, retribuciones y recursos humanos	8
1.5.4. Comité de ética.....	8
1.5.5. Comité de salud y seguridad en el trabajo.....	9
1.5.6. Comité de medio ambiente.....	9
CAPÍTULO II	10
REALIDAD PROBLEMÁTICA	10
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	10
2.2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	24
2.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	24
2.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	24
2.4.1. Objetivo general	24





2.4.2. Objetivos específicos 	24
CAPÍTULO III	25
DESARROLLO DEL PROYECTO	25
3.1. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROCESO	25
3.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	27
3.3. BASES TEÓRICAS	29
3.4. BASES NORMATIVAS	31
3.5. DESARROLLO DEL PROYECTO	34
3.5.1. Planificar – Metodología de W. E. Deming.....	39
3.5.1. Hacer – Metodología de W. E. Deming.....	48
3.5.1. Verificar – Metodología de W. E. Deming	51
3.5.1. Actuar – Metodología de W. E. Deming	56
3.6. COSTOS DEL PROYECTO.....	57
3.7. CRONOGRAMA DEL PROYECTO	61
3.8. CONCLUSIONES	63
3.9. RECOMENDACIONES.....	63
CAPÍTULO IV	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
BIBLIOGRAFÍA	65
CAPÍTULO V	66
GLOSARIO DE TÉRMINOS	66
CAPÍTULO VI	68
ANEXOS	68





ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Logo de la Empresa Aceros Arequipa.....	2
Figura 2 Sedes de Aceros Arequipa S.A.....	5
Figura 3 Vista Frontal de la Caseta de Laminación.....	15
Figura 4 Proceso de Laminado en Caliente	15
Figura 5 Vista frontal de Casetas de Laminación	18
Figura 6 Operación de Producción de Casetas de Laminación	19
Figura 7 Falla de Rodamientos de Casetas de Laminación	20
Figura 8 Proceso de Acería con Uso de Grúas Puente.....	21
Figura 9 Vista de Grúa Puente en Operación	22
Figura 10 Evolución de las Revoluciones Industriales	26
Figura 11 Pilares Tecnológicos de la Industria 4.0.....	28
Figura 12 Los Cuatro Elementos del Ciclo de E. W. Deming	30
Figura 13 Ley Nacional 29783	31
Figura 14 Norma Internacional ISO 45001:2018.....	32
Figura 15 Caseta de Laminación	35
Figura 16 Grúa Puente de Acería	38
Figura 17 Accesorios tecnológicos propuestos	46
Figura 18 Instalación de sensores en Caseta de Laminación.....	48
Figura 19 Instalación de sensores en reductores de grúas puente.....	49





Figura 20 Instalación de sensores en Casetas de Laminación 51

Figura 21 Reductor de sistema de elevación Grúa 405 54





ÍNDICE DE TABLAS

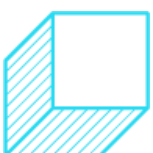
Tabla 1 Matriz FODA Para la Empresa Aceros Arequipa S.A.....	7
Tabla 2 Historial de Fallas de Casetas de Laminación.....	11
Tabla 3 Historial de Fallas Reductores de Grúas Puente.....	13
Tabla 4 Fallas de Rodamientos en Casetas y Reductores de Grúas Puente.....	41
Tabla 5 Análisis en Base a la Herramienta 5W+2H	44
Tabla 6 Resultados escenario 1	59
Tabla 7 Resultado escenario 2.....	60
Tabla 8 Resultados de escenarios	61
Tabla 9 Diagrama de gantt del proyecto	62





ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Diagrama de Pareto Fallas en Casetas de Laminación	12
Gráfico 2 Diagrama de Pareto Fallas de Reductores de Grúas Puente	14
Gráfico 3 Diagrama de Proceso de Laminación	36
Gráfico 4 Diagrama de Proceso de Acería	37
Gráfico 5 Histograma Fallas laminación	39
Gráfico 6 Histograma fallas grúas puente	40
Gráfico 7 Diagrama de Ichikawa	43
Gráfico 8 Esquema de monitoreo de vibraciones y temperatura.....	50
Gráfico 9 Espectros de frecuencia Caseta de Caja 03.....	52
Gráfico 10 Espectros de frecuencia Caseta de Caja 16.....	53
Gráfico 11 Plano Reductor elevación auxiliar G405.....	55
Gráfico 12 Espectro velocidad reductor traslación Grúa 405	56
Gráfico 13 Plan de Mantenimiento Vibracional	57





ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Memoria anual 2020 Corporación Aceros Arequipa S.A.	68
Anexo 2	Industria 4.0: Fabricando el futuro.....	70
Anexo 3	Ing. Antonio Claus Solé; Instrumentación industrial 8va edición	77
Anexo 4	Metodología PHVA.....	80
Anexo 5	Ley 29783 de seguridad y salud en el trabajo, 2012	81
Anexo 6	Norma internacional ISO 45001, Primera edición	83
Anexo 7	Reporte de vibraciones de caseta N°3 Laminación 2.....	85
Anexo 8	Análisis de vibraciones de reductor Grúa 405 - Acería 2	86





CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

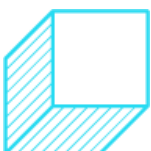
Corporación Aceros Arequipa S.A., fue fundada el 13 de mayo de 1964 en la ciudad de Arequipa, gracias a la tenacidad y empeño del Ing. Ricardo Cillóniz Oberti. Esta primera sede, inicia sus actividades en noviembre de 1966, centrandose sus operaciones en la producción y comercialización de barras corrugadas, barras lisas y perfiles de acero.

En la actualidad cuenta con las siguientes sedes:

Pisco: Planta ubicada en la ciudad de Pisco. Conformada por la Planta de Acería, la Planta de Laminación y la Planta de Industrialización. Además, cuenta con una planta de Dimensionado, de corte y doblado de barras de construcción a medida.

Lima: Sede Corporativa, ubicada en la ciudad de Lima e integrada por las oficinas administrativas de Magdalena, centros de distribución para el almacenamiento de productos terminados y distribución en Callao, Trapiche, Cercado de Lima (Av. Argentina) y Cajamarquilla, y acopio de chatarra en Oquendo y Huachipa. Asimismo, se cuenta con las plantas de corte de bobinas para productos planos y fabricación de tubos en Callao y Cajamarquilla, además de una planta de servicio de corte y plegado a medida en Cercado de Lima (Av. Argentina).

Arequipa: Centro de almacenes y distribución en la ciudad de Arequipa. Cuenta con un patio de acopio de chatarra y un almacén de productos terminados.





1.2. PERFIL DE LA EMPRESA

Corporación Aceros Arequipa S.A., es una compañía peruana, que se dedica principalmente a la industria del acero; la actividad principal de la compañía es la producción, distribución y venta de acero corrugado, varillas de alambre de acero, barras, chapas, caños, accesorios para refuerzo y otros productos de acero que se distribuyen en todo el país, y se exportan a Bolivia. Las instalaciones de la compañía incluyen molinos de acero y laminación en Pisco y Arequipa, además, a través de la filial Transportes Barcino S.A., de su propiedad, la compañía también ofrece servicios de transporte para sus productos; la Corporación Aceros Arequipa S.A., cuenta también con dos filiales, que incluyen a tanto a Comercial del Acero S.A., y la Compañía Eléctrica el Platanal S.A.

Figura 1

Logo de la Empresa Aceros Arequipa



Fuente: (Aceros Arequipa S.A., 2021)

1.3. ACTIVIDADES DE LA EMPRESA

1.3.1. Misión

Ofrecer soluciones de acero a nuestros clientes, a través de la innovación, la mejora continua y el desarrollo humano contribuyendo al





crecimiento del país e incrementando el valor para nuestros accionistas. (Aceros Arequipa S.A., 2021)

1.3.2. Visión

Líderes del mercado siderúrgico peruano, ubicados entre los más rentables de la región con activa presencia en el mercado internacional. (Aceros Arequipa S.A., 2021)

1.3.3. Objetivo

Mantener el liderazgo en el mercado con más de 55 años de sólida experiencia ofreciendo productos y servicios de calidad internacional.

Entre los objetivos estratégicos destacan una clara vocación de servicio al cliente, filosofía de calidad y la mejora continua de los procesos que permitan satisfacer la exigente demanda del mercado nacional e internacional, contando con un amplio portafolio de productos y servicios para atender los sectores de Construcción, Industria y Minería.

El éxito está basado en una clara visión empresarial, capital humano, innovación tecnológica, calidad total, preocupación por el cuidado del medio ambiente y aporte a la comunidad.

1.4. ORGANIZACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

La actividad principal es la manufactura, elaboración, comercialización, distribución y venta de hierro, acero, otros metales y sus derivados; en diferentes formas y calidades. Para lograr esto cuenta con las siguientes operaciones:

Oficinas administrativas: Magdalena del Mar, Lima. Complejo siderúrgico, el cual se encuentra ubicado en la Panamericana Sur a la altura del kilómetro





241, distrito de Paracas, provincia de Pisco, región Ica y consta de las siguientes plantas:

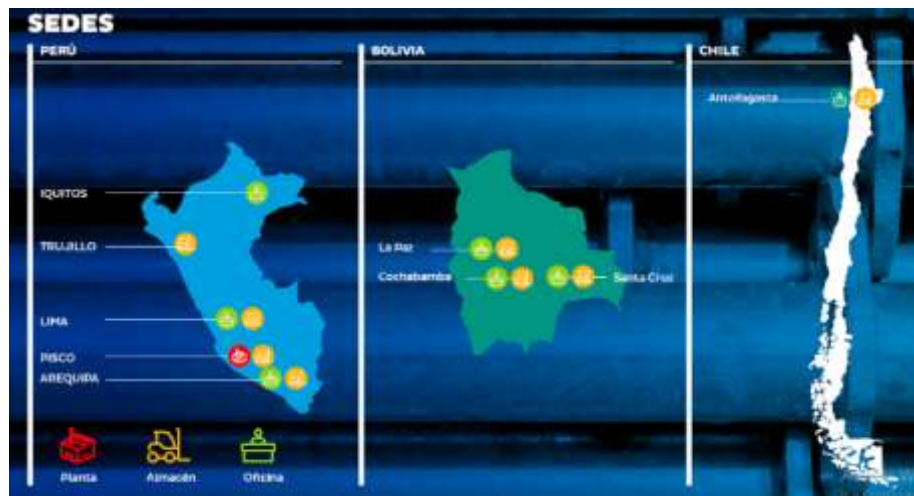
- ✓ Planta de reducción directa.
- ✓ Planta de acería.
- ✓ Planta de laminación 1.
- ✓ Planta de laminación 2.
- ✓ Planta de industrialización.
- ✓ Planta de acero dimensionado.

Centros de distribución en los departamentos de Lima, Arequipa, Trujillo e Iquitos, y con un centro de distribución, acopio y procesamiento de chatarra que se ubica en la provincia constitucional del Callao y el distrito de Huachipa; además del centro de distribución y subsidiaria internacional en el vecino país Bolivia en dos ciudades importantes como es La Paz y Santa Cruz, y finalmente la subsidiaria internacional en Chile. (Aceros Arequipa S.A., 2021)





Figura 2
Sedes de Aceros Arequipa S.A.



Fuente: Memoria Anual 2020 Aceros Arequipa

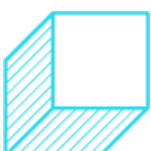
1.5. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE LA EMPRESA

Corporación Aceros Arequipa S. A., es una de las dos empresas productoras de acero en el país. Estas empresas, junto a importadores independientes, abastecen al mercado nacional con productos largos, como barras de construcción, barras lisas y perfiles; así como con productos planos tales como bobinas, planchas, tubos y calaminas.

En el presente ejercicio se observó en los últimos meses del año, un incremento importante de los precios internacionales de los productos largos y planos. Aun así, el precio promedio de exportación de la barra de construcción FOB Turquía y de la bobina laminada en caliente FOB China del año 2020 se situaron 1% por debajo del precio promedio del 2019.

1.5.1. Análisis FODA

Se utilizó esta herramienta creada por Albert S. Humphrey (2005), que permite determinar la estrategia y ventaja comparativa de una empresa mediante una matriz de fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades. Para realizar el análisis FODA, se emplearon fuentes





internas y externas de entendimiento del mercado y de la compañía. Los resultados se muestran a continuación, en la Tabla 1, se presenta la estrategia cruzada del FODA.





Tabla 1

Matriz FODA Para la Empresa Aceros Arequipa S.A.

MATRIZ FODA	FORTALEZAS		DEBILIDADES	
		F01 Respaldo financiero F02 Mejora continua F03 Posicionamiento de marca F04 Responsabilidad de la direccion	D01 Deficiente formacion del personal D02 Baja motivacion del personal	
OPORTUNIDADES	ESTRATEGIAS (FO)		ESTRATEGIAS (DO)	
O01 Incremento de la expansión urbana O02 Mejoramiento de los procesos O03 Crecimiento de la economía local	EFO1 Incrementar los puntos de venta aprovechando el incremento de la expansión urbana EFO2 Mejorar los procesos, adquisición de nueva maquinaria apoyados en el respaldo financiero	EDO1 Crear nuevos puestos de trabajo con personal capacitado. EDO2 Crear nuevos programas de incentivos para el personal.		
AMENAZAS	ESTRATEGIAS (FA)		ESTRATEGIAS (DA)	
A01 Escasez de principales insumos A02 Incertidumbre politica A03 Alta penetración de productos extranjeros	EFA1 Posicionamiento de la marca incrementando la calidad de los productos para poder competir con los productos extranjeros. EFA2 Buscar nuevas formas de adquisición de materia primas que puedan ayudar a mejorar la calidad de los productos.	EDA1 Brindarles estabilidad a los trabajadores tanto social como económicamente		

Fuente: (Aceros Arequipa S.A., 2021)





Aceros Arequipa S.A., cuenta con un directorio que tiene como misión promover el desarrollo y crecimiento saludable de su organización en forma sostenida y consistente; la empresa en cuanto a su orden de respeto y cumplimiento del orden institucional, como organizacional derivan diversos comités, como son:

1.5.2. Comité de auditoría y riesgos

El principal propósito de este comité, es asistir al directorio en el cumplimiento de sus responsabilidades de vigilancia sobre el sistema de control interno de la corporación; sesiona por lo menos cuatro veces al año y está conformado por tres miembros del directorio.

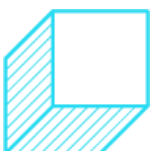
El presidente ejecutivo, el gerente general y el gerente de auditoría interna asisten al comité con voz y sin voto, este último, participa como secretario técnico del comité; los auditores externos u otros gerentes o colaboradores de la corporación asisten como invitados cuando son requeridos.

1.5.3. Comité de nombramientos, retribuciones y recursos humanos

El principal propósito de este comité es garantizar que la gestión humana se enmarque en los lineamientos corporativos y en prácticas modernas del desarrollo humano. Asimismo, busca mantener un sistema de compensación equitativa y competitiva para que permita cumplir la misión y objetivos estratégicos de la organización.

1.5.4. Comité de ética

Este comité se encarga de velar por el cumplimiento del código de ética, junto con el gerente general. Asimismo, cuenta con otras responsabilidades, tales como:





- ✓ Servir de órgano de consulta respecto de inquietudes de colaboradores o terceros sobre hechos o circunstancias que puedan afectar la ética empresarial.
- ✓ Analizar y dirimir controversias respecto de los eventuales conflictos de interés reportados por los colaboradores.
- ✓ Analizar libre y objetivamente situaciones de incumplimientos éticos.

1.5.5. Comité de salud y seguridad en el trabajo

Este comité es responsable de planificar, organizar, dirigir y controlar los programas de seguridad y salud en el trabajo de la empresa. Donde se establece de manera coordinada, todas las operaciones que realiza la empresa en cumplimiento irrestricto de las normas que regulan las actividades a nivel nacional, tanto a nivel de la SST y el respeto a la ley ambiental y reglamentos como decretos supremos que se emiten para su aplicación en el país.

1.5.6. Comité de medio ambiente

Como una práctica de buen gobierno corporativo y de responsabilidad social, se creó el comité de medio ambiente que funciona internamente en el complejo siderúrgico, este comité se encarga de planificar operativamente la gestión ambiental, así como de identificar riesgos ambientales en la etapa operacional; para ello, cuenta con reuniones mensuales y agenda de manera sucesiva identificando los factores que se deben de desarrollar y resolver.

Esto a su vez, trabajan para cumplir con la normativa vigente sobre los impactos ambientales y otras directrices.





CAPÍTULO II

REALIDAD PROBLEMÁTICA

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la actualidad en la empresa Aceros Arequipa S.A., el área de mantenimiento predictivo se encarga de la programación y cumplimiento del programa de inspecciones predictivas de forma semanal, para dicha labor vendrían a usarse determinadas técnicas de mantenimiento predictivo, los cuales son:

- ✓ Análisis vibracional.
- ✓ Termografía infrarroja.
- ✓ Alineamiento laser de máquinas.
- ✓ Análisis dinámico y estático de motores eléctricos.
- ✓ Ensayos no destructivos.
- ✓ Inspección visual remota.
- ✓ Análisis de aceite usado.
- ✓ Ultrasonido pasivo o airborne.

En este programa de mantenimiento, involucra solamente a equipos críticos, y al mismo tiempo, se generan solicitudes adicionales de inspección; no obstante, existirían equipos críticos que por su dificultad de acceso o por la propia seguridad del personal de inspecciones no sería posible realizar sea una inspección directa en la probable fuente de falla, o en su defecto, de monitorear de manera directa sobre los puntos posibles de fallas que tendrían estos equipos críticos, como por ejemplo, sean las casetas de laminación y ,equipos rotativos de las grúas puente.





Las áreas de laminación y acería, cuentan con equipos rotativos tales como casetas de laminación y grúas puente respectivamente; las fallas de estos equipos, por lo general, originarían un impacto operacional a nivel productivo de acuerdo a los estándares aceptables y medibles con calidad que se controla en los procesos de producción en la planta.

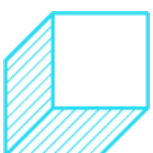
En función de lograr identificar el rango de mayor nivel de fallas, se describe en la siguiente tabla N° 2:

Tabla 2
Historial de Fallas de Casetas de Laminación

HISTORIAL DE FALLAS DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS				
CASSETAS HORIZONTALES Y VERTICALES				
Nº	CARACTERÍSTICAS	H/PROD.	AÑO	Nº /FALLAS
1	Desgaste de rodamientos a un 15%	16	2018	16
2	Desgaste de rodamientos a un 15%	8	2019	06
3	Desgaste de rodamientos a un 15%	8	2020	05
4	Desgaste de rodamientos a un 15%	8	2021	08
TOTAL				35

Fuente elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

Conforme se describe, las fallas en el tiempo de los últimos 3 años y lo que va del presente año 2021, la frecuencia de fallas que tuvieron un nivel mayor fue el año 2018, (esto debido a un alto grado de producción que se desarrolló en



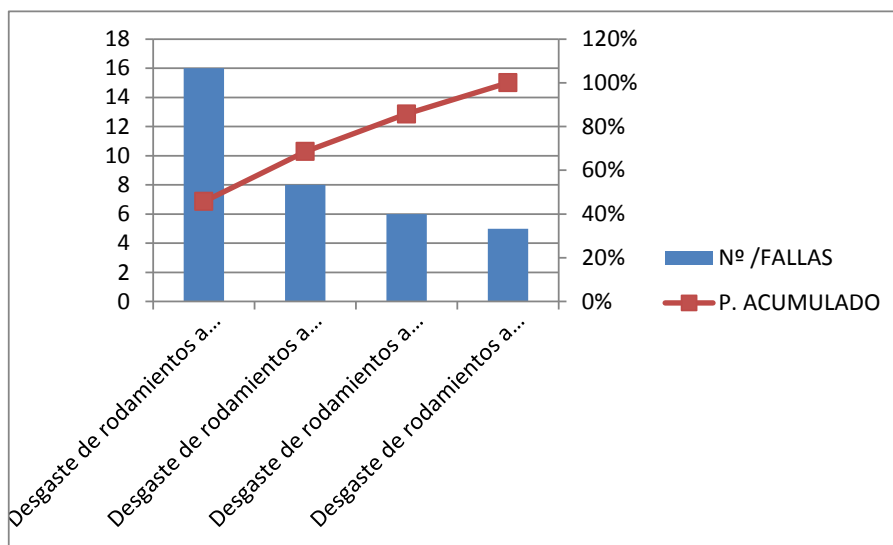


base a dos turnos continuos y por el desgaste que no tuvo un control para verificación y mantenimiento de equipos de forma predictiva); que luego por un mantenimiento sostenido en los años 2019 y 2020 se pudo reducir, influyente el factor de usar en este caso un solo turno de (8 horas), pero siempre el desgaste generaría de por medio factores como parada de equipos, producción inconclusa que se saldría del programa de atención a los clientes, gastos económicos para el mantenimiento inmediato principalmente.

Estos equipos críticos, por tener una actividad constante devienen o se presentarían ciertas o posibles fallas principalmente en los rodamientos, y conforme el historial de la data sobre las fallas existente, las cuales se registran en el sistema SAP (Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung).

Gráfico 1

Diagrama de Pareto Fallas en Casetas de Laminación



Fuente elaboración propia (Munar Gutierrez, 2021)

Tal como se evidencia en el gráfico N° 1, el desgaste de los rodamientos vendría a ser el punto principal de las fallas que se generan en la línea de producción de los equipos críticos.

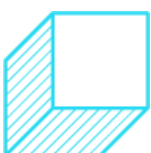




Tabla 3

Historial de Fallas Reductores de Grúas Puente

HISTORIAL DE FALLAS DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS				
REDUCTORES DE GRÚAS PUENTE				
Nº	CARACTERÍSTICAS	H/PRO.	AÑO	Nº /FALLAS
1	Desgaste de rodamientos a un 15%	8	2018	04
2	Desgaste de rodamientos a un 15%	8	2019	06
3	Desgaste de rodamientos a un 15%	8	2020	02
4	Desgaste de rodamientos a un 15%	8	2021	02
TOTAL				14

Fuente elaboración propia (Munar Gutierrez, 2021)

Conforme se observa en la tabla Nº 4, en los cuatro años siempre tuvieron la operación basada en un turno de ocho horas, siendo el año 2019 donde se registraron seis (6) paradas de planta, esto debido que sin las grúas puente el proceso se paraliza por completo, y para su mantenimiento requiere retirarlos fuera de la línea de producción el cual implica el uso de un tiempo entre 8 a 10 horas para el desmontaje general; entre tanto, todo el sistema o el proceso de paraliza.

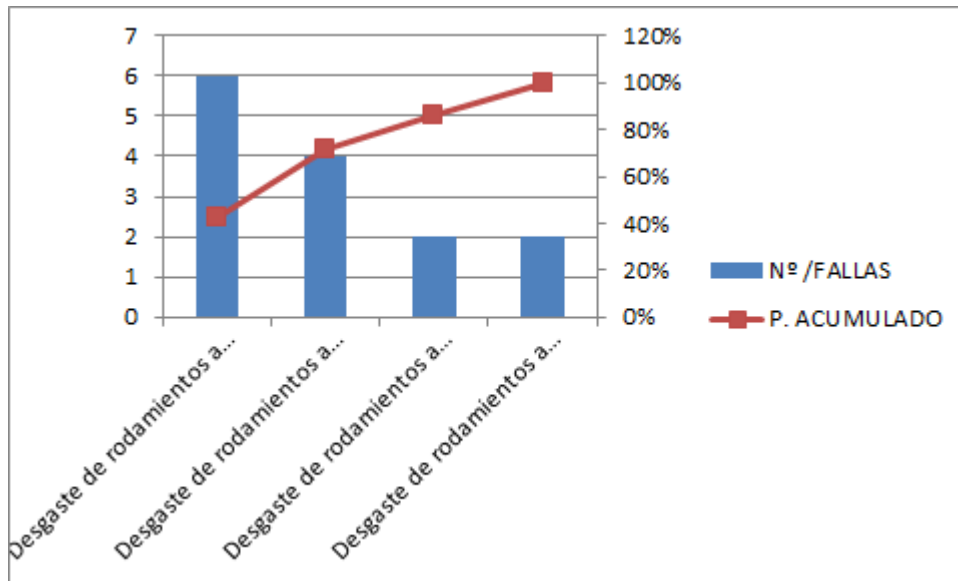
Del año 2020 y lo que va del 2021, se tienen 2 paradas de planta y el factor viene a ser el mismo punto de falla, (desgaste de los rodamientos y de los engranajes, pero en estos casos se redujeron las fallas a 50% menos, pero a un costo mayor;





Gráfico 2

Diagrama de Pareto Fallas de Reductores de Grúas Puentes



Fuente elaboración propia (Munar Gutierrez, 2021)

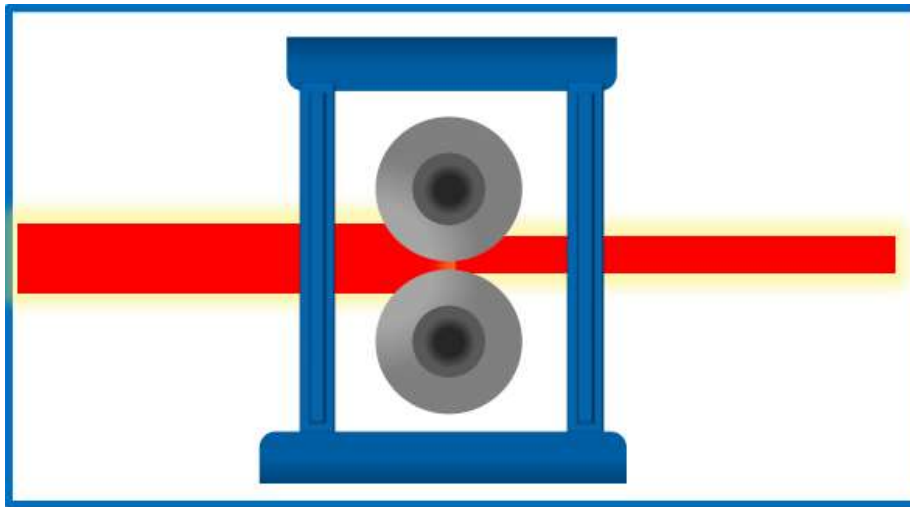
Para el proceso de producción la caseta de laminación, tal como indica la presentación corporativa de (Aceros Arequipa S.A., 2021): Conforme el proceso de deformación en caliente del acero mediante rodillos, para obtener un producto final (barras corrugadas, ángulos, redondos, etc.), con características físicas y mecánicas determinadas para un uso específico. Esto quiere decir, que los equipos al momento de iniciar su funcionamiento las características físicas y mecánicas tienen una variación alta en cuanto a fatiga y temperatura, por el cual, como se mencionó no existe la manera de verificar esos cambios de manera visual o con algún equipo de medición, debido a las características propias de la instalación y por la robustez de los equipos.





Figura 3

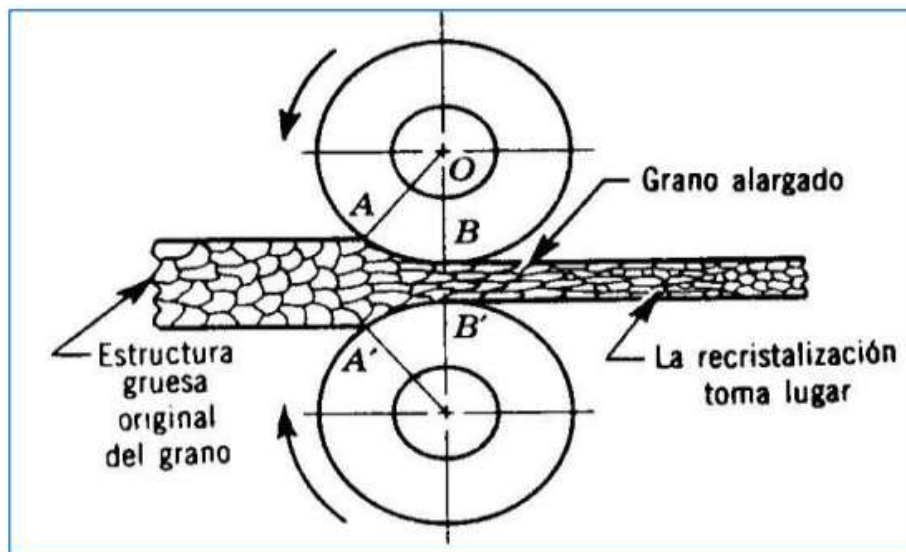
Vista Frontal de la Caseta de Laminación



Fuente: (Aceros Arequipa S.A., 2021)

Figura 4

Proceso de Laminado en Caliente



Fuente: (Aceros Arequipa S.A., 2021)





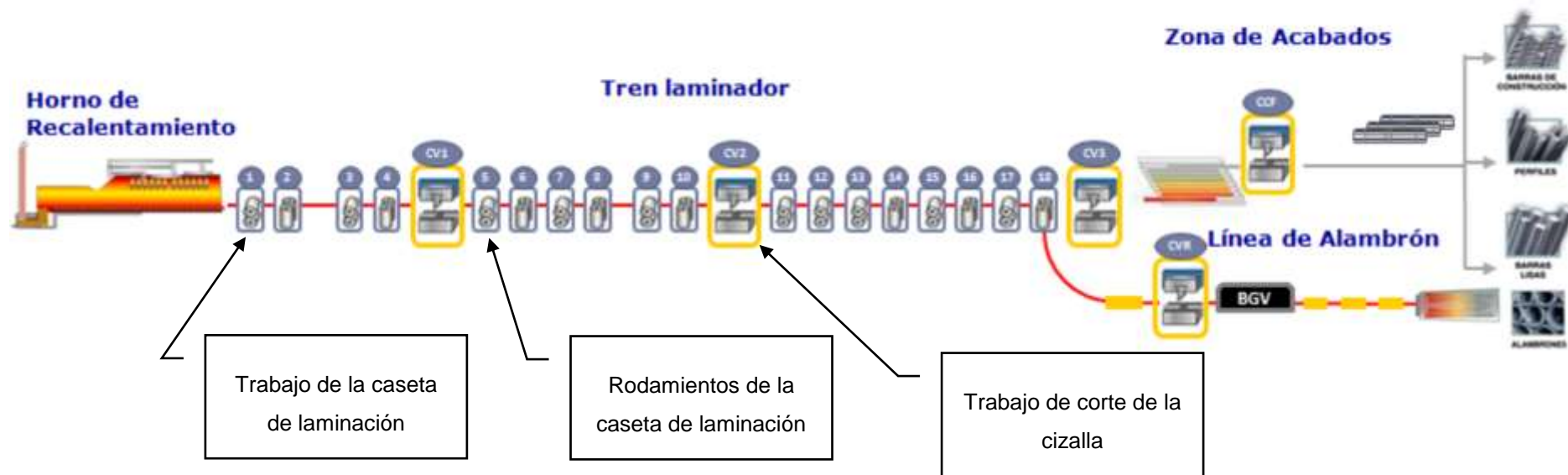
Conforme a la **Figura 3** se visualiza tanto la caseta de laminación, y en la **Figura 4** el proceso de laminado; en ambos casos tienen un contacto constante con los rodillos y por lo tanto, el trabajo que realizan los rodamientos tiene un nivel alto, que involucra desgaste, pero considerando que el desgaste es inevitable por el mismo hecho que la producción implica, sin embargo el efecto de no conocer precisamente dónde, cuándo, cómo actuar sobre el punto de la falla, deviene en una parada de planta con efectos negativos para la producción.





Figura 5

Proceso de Laminación Integrado de la Planta de Producción



Fuente: (Aceros Arequipa S.A., 2021)¹

¹ Conforme a la figura N° 5 desde el horno de recalentamiento, el trabajo de las casetas de laminación inicia a través de todo el tren laminador, y el trabajo de los rodamientos de cada una de las casetas de laminación entran en un nivel de fatiga; y también existe el trabajo de corte de la cizalla.





Figura 6
Vista frontal de Casetas de Laminación



Fuente elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

Conforme a la imagen N° 1, los equipos críticos que están relacionados directamente con el proceso de laminado la falla de cualquiera de ellos afectaría los procesos productivos; esto debido a la sincronización operacional. Las casetas son equipos intercambiables; es decir dependiendo del producto a laminar pueden variar en posición, esto genera mayor dificultad en llevar un control de vibración y temperatura.





Figura 7

Operación de Producción de Casetas de Laminación



Fuente elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

Conforme a la imagen N° 2, la operación se genera a través del equipo crítico, donde el proceso de laminado del equipo es de manera interna, por lo tanto, no existe una visión directa del trabajo mecánico interno, donde se pueda acceder a visualizar, medir, controlar, monitorear sea el grado de vibración y el nivel de temperatura.

Esto a su vez, da un alto grado de probabilidad que los equipos críticos tengan un pare debido a estos dos factores, (vibración mecánica constante fuera de los rangos de control y temperaturas fuera del rango de soporte respecto a las especificaciones técnicas del equipo).

En la planta, para el control de estos dos factores principales se estaría aplicando el criterio de mantenimiento en base a las fallas cuando los equipos están fuera de servicio, esto indicaría, que por la características de instalación





y de trabajo de los equipos, no sea factible un diagnóstico primario para promover o determinar e mantenimiento preventivo; además por la misma naturaleza que los equipos tienen sus resguardos para la seguridad industrial, por lo tanto no sería factible que en el proceso de producción, sea aceptable una verificación directa de los factores de fallas que involucran.

Conforme a la imagen N° 3, se observa la falla en el rodamiento de la caseta de laminación, en este caso se puede observar la falla, porque fue desmontado y colocado en el área de mantenimiento; caso contrario la falla por estar internamente no sería factible realizar un mantenimiento predictivo, si no se llega a conocer sea el nivel de vibración y temperatura.

Figura 8

Falla de Rodamientos de Casetas de Laminación



Fuente elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)



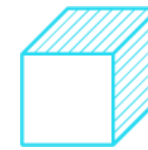
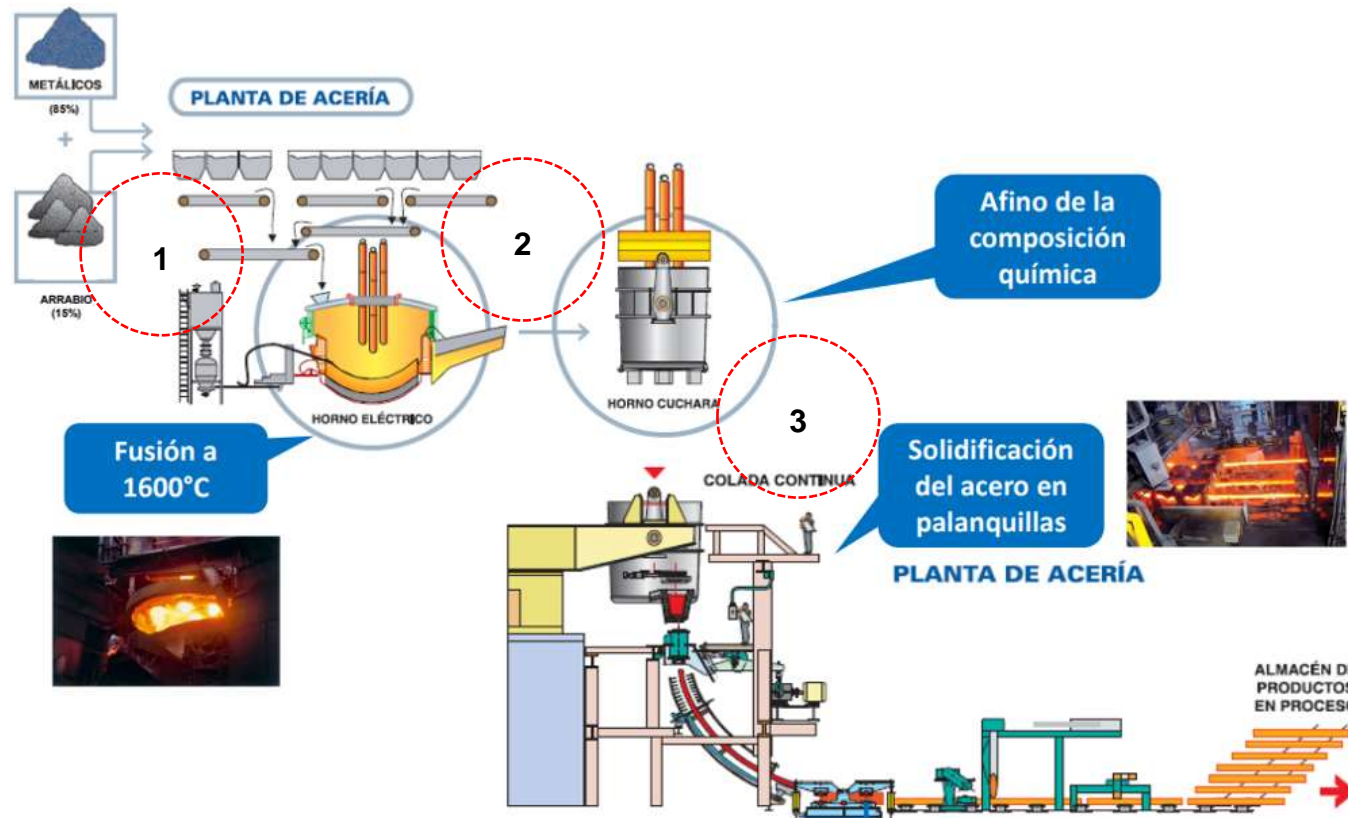


Figura 9
Proceso de Acería con Uso de Grúas Puentes



Fuente: (Aceros Arequipa S.A., 2021)





Figura 10

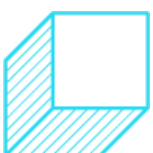
Vista de Grúa Puente en Operación



Fuente elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

La técnica de monitoreo de vibraciones es la más recomendada para identificar defectos en elementos rodantes, canastillas o pistas de rodadura, sin embargo, por lo difícil al acceso directo y por factores obligatorios para la seguridad industrial en protección de los trabajadores no se deben de realizar de manera directa, no obstante, actualmente la tecnología y la instrumentalización industrial, conjuntamente con el desarrollo de las técnicas de la Industria 4.0, existen medios de control y de monitoreo para este tipo de problemas, con diagnósticos eficientes, confiables y seguros.

Así mismo, se descarta la instalación de sensores fijos sea con cableados internos al ser poco recomendados, dado que se requiere realizar la instalación del cableado por espacios confinados, conexión e instalación de puertos para la descarga o transmisión de la información, lo cual no es posible debido a la robustez de los equipos críticos, por el tipo de funcionamiento mecánico al





momento de la producción, sobre todo, por la garantía de uso en base a costo y beneficio en el tiempo.

En síntesis, para poder determinar el estado de los rodamientos de casetas y reductores se tendría que implementar un monitoreo directo sobre las vibraciones y además de un control de la temperatura de dichos componentes, considerando la falta de acceso por factor principal que tendría que ver con el diseño del equipo; pero ante todo por prevención de la SST frente a la probabilidad de incidentes o accidentes al personal de mantenimiento predictivo, es conveniente implementar un modelo predictivo en el contexto de la Industria 4.0, la factibilidad de realizar un monitoreo de las vibraciones y rangos de la temperatura.

Conforme a la descripción de la problemática, se hace necesario indicar que los equipos críticos vendrían a requerir un mantenimiento inteligente, en base al uso de instrumentalización industrial (sensores inteligentes con criterios técnicos de la Industria 4.0), lo cuales darían un diagnóstico inicial para tener fundamentos acertados sobre el tipo de falla, características de la falla y su posterior mantenimiento predictivo.

Teniendo en cuenta que el acero es una aleación de hierro y carbono que se obtiene mediante la fusión de chatarra, pallets de mineral de hierro y arrabio. Un componente en la producción del acero es la carga metálica. En la zona de metálicos, se acopia el acero a reciclar, según su carga residual y su densidad.

La compra de acero en desuso viene generando un importante mercado de trabajo en nuestro país y contribuye además al cuidado del medio ambiente.

El acero reciclado pasa por un proceso de corte y triturado en la planta fragmentadora de Aceros Arequipa. En el interior de la fragmentadora, poderosos martillos reducen la carga a un tamaño óptimo.





2.2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

La implementación de un modelo predictivo para el mantenimiento de equipos críticos y acceder al monitoreo de vibración y temperatura en el contexto de la industria 4.0: ¿Reduciría la probabilidad de fallas en los rodamientos de las casetas de laminación y reductores de grúas puente?

2.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La implementación de un modelo predictivo para el mantenimiento de equipos críticos y acceder al monitoreo de vibración y temperatura en el contexto de la industria 4.0: Reduciría la probabilidad de fallas en los rodamientos de las casetas de laminación y reductores de grúas puente.

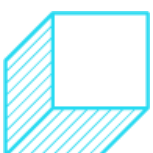
2.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.4.1. Objetivo general

Implementar de un modelo predictivo en el contexto de la industria 4.0 para el monitoreo de vibraciones y temperatura de equipos críticos.

2.4.2. Objetivos específicos

- a. Uso de la metodología PHVA para el desarrollo del proyecto de mejora en función de los equipos críticos.
- b. Costos de validación e instalación del modelo de mantenimiento predictivo en el contexto de la industria 4.0.
- c. Cronograma del proyecto de mejora del modelo de mantenimiento predictivo en el contexto de la industria 4.0.





CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROCESO

La industria a nivel mundial, ha tenido periodos de desarrollo y saltos tanto cualitativos y cuantitativos, especialmente con el desarrollo de la instrumentalización industrial, que a partir de del siglo XVIII con los sistemas mecánicos conforme al uso de combustibles fósiles se tenía que generar el vapor para poder accionar motores, maquinas principalmente; agregado a esto la existencia en esos tiempos por ejemplo del controlador de presión de manera directa ya era un avance extraordinario para la alimentación con carbón por ejemplo a las calderas de los trenes.

Con el surgimiento de la electricidad y su introducción, más los aceites para la lubricación vienen a incidir en la industria un progreso acelerado, principalmente en países como Estados Unidos y el aporte que realiza fundamentalmente a este proceso como Nikola Tesla, se da inicio a una producción en masa, porque los combustibles fósiles tanto como el petróleo y el carbón vienen a ser explotados de manera industrial.

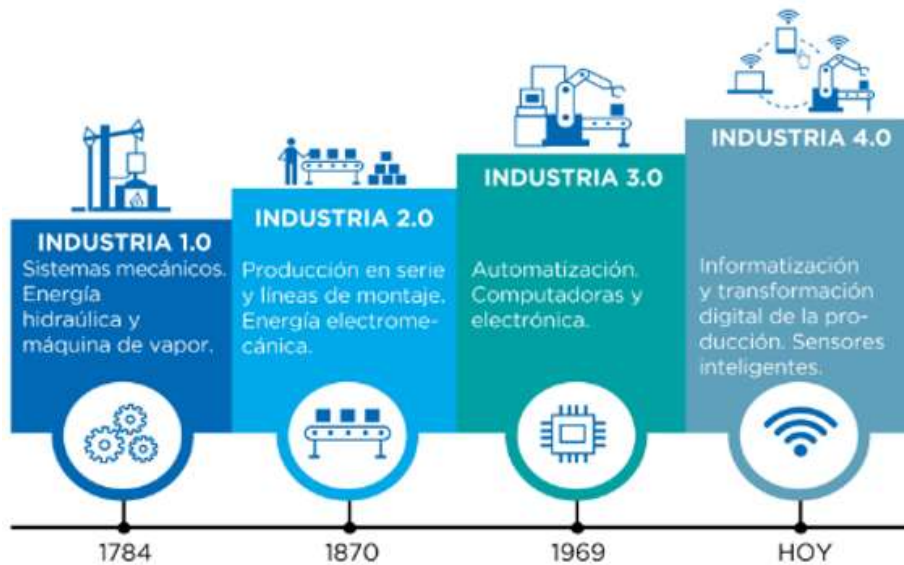
Cuando se habla de la industria 3.0, viene a ser el periodo propiamente electrónico e informático, que viene a usarse en la industria con la finalidad de automatizar los procesos tanto productivos como cotidianos que hacen posible la seguridad, la productividad y la rentabilidad.

Hoy en día la industria 4.0, con la unión de la mecánica, la electrónica, la informática industrial, la neumática, la hidráulica, la robótica y con el conjunto de la instrumentalización industrial (sensores, actuadores, conectores, PLC), se han complementado con los sistemas cibernéticos, y más el uso con otras combinaciones tecnológicas. Por lo tanto, la producción actualmente en el mundo es inteligente, automatizado y, dicho de otro modo, interconectado.





Figura 11
Evolución de las Revoluciones Industriales



Fuente: (Ana Ines Basco, 2018)

En síntesis, como menciona (Klaus Schwab, 2016):

Se podría aseverar que la Industria 4.0 es la cuarta revolución industrial, dado que se define como la transición hacia nuevos sistemas ciber físicos que operan en forma de redes más complejas y que se construyen sobre la infraestructura de la revolución digital anterior.

Lo que inicialmente, para poder acceder al mantenimiento, a la mejora de las máquinas, a proyectar lo predictivo, a masificar la cadena de producción, a contar con datos válidos y específicos para el análisis de los sistemas, en la industria 4.0 lo tenemos a cada momento, de manera permanentes, y con el hecho ya de programarlo anticipadamente se pueden tener diagnósticos, controlar el sistema, y mantener el sistema. Y esto es debido, a la revolución de la digitalización, a la interconexión de los diversos eventos en una pantalla, en una sala de mando o en su defecto e un smartphone.





Y finalmente como menciona (Ana Ines Basco, 2018):

La industria 4.0 ofrece almacenamiento, acceso y uso de servicios informáticos en línea. Esta puede experimentarse en tres niveles diferentes, según el servicio previsto: Plataforma, infraestructura y software. De manera que esta tecnología permite acceder a los recursos informáticos de manera flexible con una baja inversión en administrativa y desde distintos dispositivos. Muchas de las aplicaciones que hasta hace poco requerían de la instalación de un programa en un servidor, ahora son ejecutadas de forma remota.

3.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A nivel latinoamericano

La especialista en integración del Instituto de América Latina y el Caribe (INTAL), (Ana Ines Basco, 2018), en su aporte conjuntamente con otros especialistas en el libro Industria 4.0 “Fabricando el Futuro”, en unión con el BID (Banco Interamericano de Desarrollo) y la Unión Industrial Argentina (UIA), nos describe lo siguiente:

La implementación de tecnologías de la industrial 4.0 revierte la lógica del proceso productivo convencional: con el avance de las nuevas tecnologías las maquinas ya no procesan el producto, si no que el producto se comunica con la maquinaria para indicarle exactamente qué hacer.

Con altos niveles de automatización y digitalización, una fábrica inteligente se integra horizontal y verticalmente logrando una producción flexible y orientada a las necesidades de los clientes. La gran capacidad de estas fábricas para generar, procesar y analizar datos, deriva en las tomas de decisiones de forma descentralizada y en modelos de negocios centrados en el cliente.

A medida que una industria migra paulatinamente a ser una industria 4.0, será necesario que los diferentes sistemas se comuniquen entre si e interactuar.





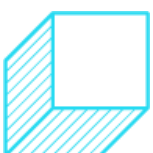
Para ello resulta necesario y en algunos casos obligatorios, contar con normas y estándares internacionales que armonicen el diseño de las interfaces a nivel global.

Figura 12
Pilares Tecnológicos de la Industria 4.0



Fuente: (Ana Ines Basco, 2018)

De acuerdo al aporte de la especialista que menciona líneas arriba, y conforme a la figura N° 8, para la implementación en el caso de la empresa Corporación Aceros Arequipa S.A., se utilizará del círculo de AMETIC (representante del sector de la industria tecnológica digital en España), el “Sistema de integración”, porque se requiere integrar el funcionamiento que tienen tanto las casetas de laminación como las grúas puente en conexión con la instrumentalización industrial que se detallará en el desarrollo del proyecto; también se usará “Internet de las cosas”, ya que tiene una relación imprescindible con la automatización; también se utilizará “Computación en la





nube”, debido que esto nos permitiría tener los datos con una seguridad total, pero sobre todo a disposición en tiempo real; y finalmente se utilizará la “Simulación”, por lo que estos cuatro elementos base, serán los medios por los cuales el desarrollo del proyecto será complementado.

3.3. BASES TEÓRICAS

En el libro del Dr. ingeniero industrial español (Creus Sole, 2010), “Instrumentación Industrial”, de la octava edición, será en base a su desarrollo y referencia de la instrumentación del cual se utilizará para el desarrollo conforme a la base teórica, para el Trabajo de Suficiencia Profesional, considerando a su vez, lo que nos menciona:

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos: la fabricación de los productos derivados del petróleo, de los productos alimenticios, la industria cerámica, los centrales generadores de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, etc.

En todos estos procesos, es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, la vibración, el pH, la conductividad, la velocidad, la humedad, el punto de rocío, etc. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar.

Los procesos industriales a controlar pueden dividirse ampliamente en dos categorías: procesos continuos y procesos discontinuos. En general, en ambos tipos deben mantenerse las variables (presión, caudal, nivel, temperatura, etc.), bien en un valor deseado fijo, bien en un valor variable con el tiempo de acuerdo con una relación



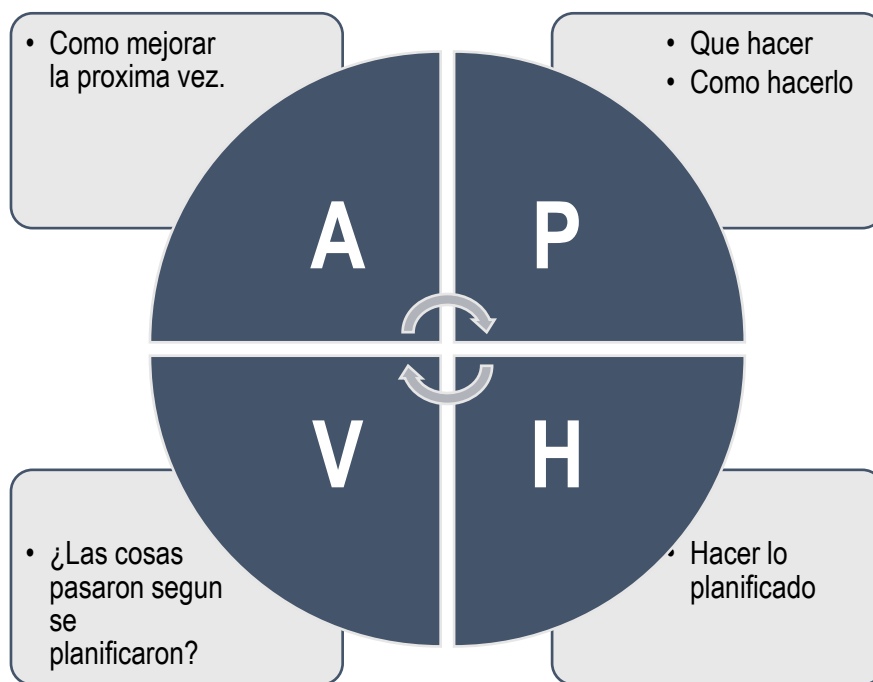


predeterminada, o bien guardando una relación determinada con otra variable.

Para el desarrollo del Trabajo de Suficiencia Profesional, “Implementación de un modelo predictivo en el contexto de la Industria 4.0 para el monitoreo de vibraciones y temperatura de equipos críticos en la empresa Corporación Aceros Arequipa S.A.”, se requiere trabajar en equipo, con una planeación con la finalidad que nos permita tomar decisiones, en concordancia a los datos o elementos que son fundamentales en la calidad, y que permita a su vez aplicar la mejora, controlarla o verificarla; y para ello, la metodología del PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), metodología que fue desarrollado por el Dr. W. E. Deming, será la guía para el conjunto del desarrollo propuesto.

Figura 13

Los Cuatro Elementos del Ciclo de E. W. Deming



Fuente elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)





3.4. BASES NORMATIVAS

Tomando como referencia la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo N° 29783, en su artículo N°5 (Esferas de acción de la Política Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo), menciona las medidas para combatir los riesgos profesionales en el origen, diseño, ensayo, elección, reemplazo, instalación, disposición, utilización y mantenimiento de los componentes materiales de trabajo.

Así mismo en el artículo N°50 (Medidas de prevención facultadas al empleador), menciona que el empleador deberá aplicar medidas de prevención de riesgos laborales; gestionando los riesgos sin excepción, eliminándolos desde su origen y aplicando sistemas de control a aquellos que no se puedan eliminar.

Figura 14

Ley Nacional 29783



Fuente: (BSG, s.f.)

De acuerdo con la norma internacional ISO 45001 (Secretaría Central de ISO, 2018). Según las normativas del sistema integrado de gestión del sistema de seguridad y salud en el trabajo SST, menciona los objetivos principales del





sistema y dado que, en el proyecto, uno de los aspectos limitantes para el monitoreo de los equipos críticos es la seguridad, se menciona lo siguiente:

El propósito de un sistema integrado de gestión de la SST es proporcionar un marco de referencia para gestionar los riesgos y oportunidades. El objetivo y los resultados previstos del sistema integrado de gestión de la SST son prevenir lesiones y deterioro de la salud relacionado con el trabajo a los trabajadores y proporcionar lugares de trabajo seguro y saludables; en consecuencia, es de importancia crítica para la organización eliminar los peligros y minimizar los riesgos para SST tomando medidas de prevención y protección eficaces.

Figura 15

Norma Internacional ISO 45001:2018



Fuente (Secretaría Central de ISO, 2018)

En el capítulo 8.1 planificación y control operacional, la norma detalla que la organización deberá cumplir los requisitos de la SST, eliminando peligros y reduciendo los riesgos, por lo que indica:





La organización debe establecer, implementar y mantener procesos para la eliminación de los peligros y la reducción de los riesgos utilizando la siguiente jerarquía de los controles:

- a) eliminar el peligro;
- b) sustituir con procesos, operaciones, materiales o equipos menos peligrosos;
- c) utilizar controles de ingeniería y reorganización del trabajo;
- d) utilizar controles administrativos, incluyendo la formación;
- e) utilizar equipos de protección personal adecuados.

Así mismo el decreto supremo N° 005-2012-TR del reglamento de seguridad y salud en el trabajo, en su capítulo II, política del sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (REPUBLICA, 2012), en su artículo 25 indica:

El empleador debe implementar el sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo, regulado en la ley y en el presente reglamento, en función del tipo de empresa u organización, nivel de exposición a peligros y riesgos, y la cantidad de trabajadores expuestos.

Los empleadores pueden contratar procesos de acreditación de sus sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo en forma voluntaria y bajo su responsabilidad. Este proceso de acreditación no impide el ejercicio de la facultad fiscalizadora a cargo de la inspección del trabajo respecto a las normas nacionales de seguridad y salud en el trabajo, así como las normas internacionales ratificadas y las disposiciones en la materia acordada por negociación colectiva.

En cuanto a las especificaciones técnicas de la solución planteada y su relación con la seguridad industrial, podemos aseverar que reduce de manera





importante el riesgo de contacto directo con elementos rotativos de máquinas y cumple con las normas vigentes y lo estipulado en el manual de gestión de seguridad y salud ocupacional de la empresa.

El sistema de gestión de SST que se ha implementado tiene como base la norma ISO 45001 y las normas nacionales: Ley N° 29783 Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo y su Reglamento de Ley. Este es evaluado a través de las auditorías internas y externas de forma anual y las revisiones que el ministerio de trabajo pueda realizar. Se realiza un seguimiento constante a través de indicadores.

En todos los procesos realizados en la empresa se evalúan adecuadamente el riesgo en el lugar de trabajo y contemplan lo siguiente:

- ✓ Análisis de trabajo seguro, de revisión diaria.
- ✓ Revisión diaria a través de un check list de Pre-uso.
- ✓ P.E.T.S.20 & M.G.I.R.21, se revisa una vez al año o cuando sea necesario.

Así mismo, la jerarquía de los controles utilizados para eliminar peligros y minimizar riesgos se realiza en base a los criterios indicados en la ley 29783 e ISO 45001:

- ✓ Eliminación.
- ✓ Sustitución.
- ✓ Controles de ingeniería.
- ✓ Controles administrativos.
- ✓ Equipos de protección personal.

3.5. DESARROLLO DEL PROYECTO

El desarrollo del proyecto se realizará en dos áreas operativas de la planta siderúrgica de Pisco, las áreas de laminación y acería, y teniendo en cuenta que el problema es similar, es decir falta de acceso para el monitoreo directo





de vibraciones - temperatura y riesgo del personal de mantenimiento predictivo.

Equipos críticos del área de laminación:

El proceso de laminado en caliente de los trenes de laminación, se inicia con la materia prima que es la palanquilla suministrada de la Planta de Acería. Se alimenta al Horno de Recalentamiento y se calienta a una temperatura de 1,160°C en promedio, mediante el proceso de combustión con gas natural. Una vez obtenida la temperatura deseada, la palanquilla ingresa al tren laminador que consta de un conjunto de equipos (casetas) puestos en serie que tienen la finalidad de reducir la sección transversal de la palanquilla; a través, de su compresión entre los rodillos de las casetas, dando la forma del producto final y mejorando sus propiedades mecánicas.

Figura 16

Caseta de Laminación





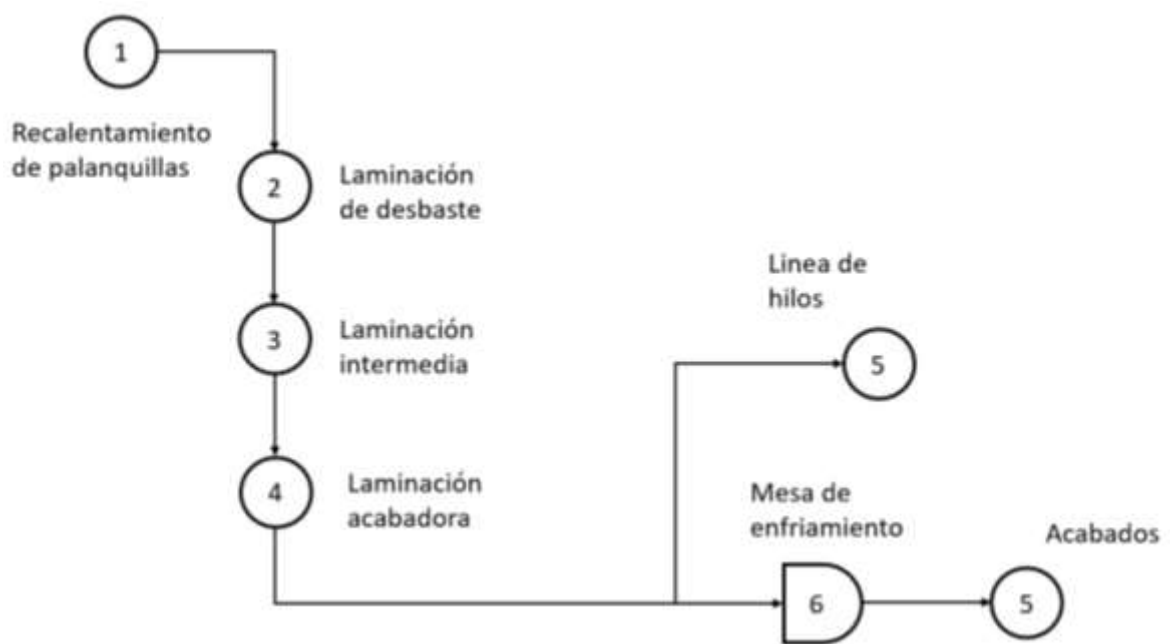
Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

Cada caseta cuenta con dos tipos de rodamientos 4 en disposición radial y 2 en forma axial. La lubricación es de forma centralizada, es decir una central de lubricación puede lubricar a 3 casetas. Para reducir los efectos de la temperatura los rodillos se enfrían con chorros de agua.

En el siguiente diagrama de operaciones del proceso DOP, del proceso de laminación en caliente, se muestra la importancia de las casetas en las etapas de laminado de desbaste, laminado intermedio y laminado acabador de los distintos productos.

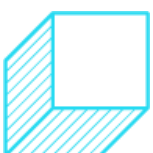
Gráfico 3

Diagrama de Proceso de Laminación



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

En el desarrollo del proyecto también está considera la planta de acería, en el siguiente diagrama de operaciones DOP del proceso de acería se muestra la





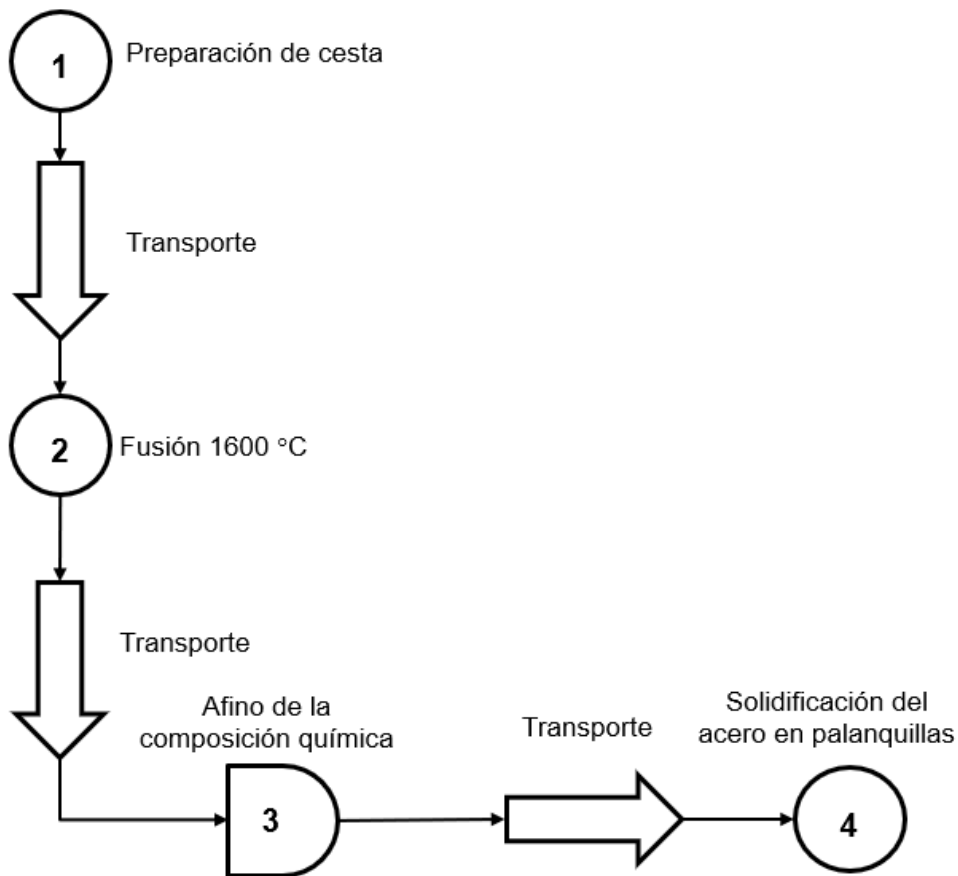
importancia de las grúas puente para el traslado de cargas de materias primas y acero líquido.

Equipos críticos del área de acería:

El Horno de Fusión tiene un transformador de 100 MVA, además de 5 lanzas supersónicas para la inyección de oxígeno, instaladas en su estructura metálica. Los paneles (paredes del horno) y la bóveda son refrigerados con agua.

Gráfico 4

Diagrama de Proceso de Acería



Fuente elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

Cuando la carga metálica ingresa al horno por medio de las grúas puente, la puerta es cubierta con una masa selladora. Esto evita el





ingreso excesivo de aire y permite mantener mejor el calor. En el interior del horno eléctrico, la principal fuente de energía usada para fundir la carga es la energía eléctrica; a través, del arco eléctrico producido por tres electrodos que generan temperaturas por encima de los 3,000°C a 5,000°C. Adicionalmente, se consume energía química generada en reacciones exotérmicas por el uso de oxígeno. La carga metálica se funde a 1600°C, obteniéndose así el acero líquido.

Luego de 33 minutos de proceso en el horno eléctrico, el acero líquido pasa al horno cuchara donde se realiza el afino, es decir, se ajusta la composición química del acero, logrando así la calidad necesaria para el producto y dándole al acero la temperatura necesaria para el resto del proceso. Luego, la cuchara se traslada por las grúas puente y es enviada a la colada continua para iniciar el proceso de solidificación.

Figura 17

Grúa Puente de Acería



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

Como podemos observar las grúas puente forman parte del proceso de acería, para el traslado de cargas las grúas puente presentan varios





sistemas, entre ellos destacan: el sistema de elevación principal, el sistema de elevación auxiliar, el sistema de traslación puente y el sistema de traslación carro. Cada uno de estos sistemas cuenta con motores eléctricos y reductores, por lo que tiene que tener que operar sin fallas. La correcta operación de cada uno de estos sistemas brinda confiabilidad y seguridad para el proceso.

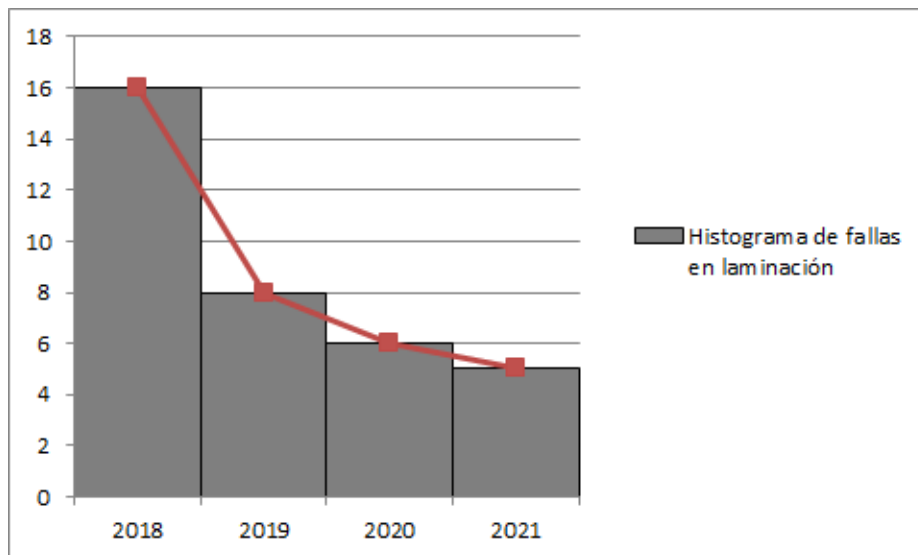
3.5.1. Planificar – Metodología de W. E. Deming

Como parte inicial del desarrollo del proceso del proyecto, se tiene el análisis y diagnóstico sobre el funcionamiento de los equipos críticos, y para ello es importante describir lo siguiente:

Siguiendo la metodología de PHVA, como primer paso definiremos y analizaremos la magnitud del problema, mediante el histograma de la cantidad de fallas por problemas de rodamientos en el área de laminación y fallas asociadas a defectos en rodamientos de reductores en grúas puente del área de acería.

Gráfico 5

Histograma Fallas laminación



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

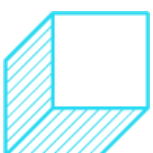
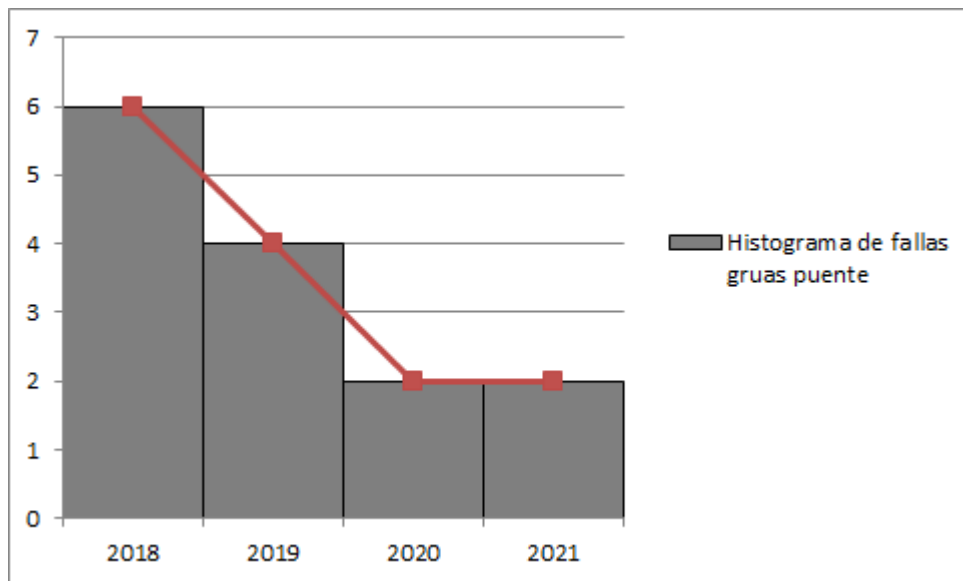




Gráfico 6

Histograma fallas grúas puente



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

Como segundo paso se listarán mediante la herramienta de lluvia de ideas, todas las posibles causas relacionadas a las fallas de rodamientos de casetas y reductores de grúas puente. En la siguiente lista de la tabla N° 4 se evaluarán los problemas que están relacionados directamente con el desgaste o deterioro de los rodamientos de los equipos críticos.

Se listaron veinte (20) problemas, tomando en cuenta los criterios de frecuencia, importancia y factibilidad; se asignaron los valores de acuerdo a situaciones reales, observando que los principales problemas se encuentran en la falta de monitoreo de condición y la falta de acceso para realizar el monitoreo.

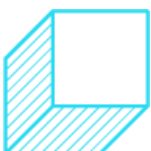




Tabla 4

Fallas de Rodamientos en Casetas y Reductores de Grúas Punte

ITEM	LISTA DE PROBLEMAS	CRITERIOS			TOTAL
		FRECUENCIA	IMPORTANCIA	FACTIBILIDAD	
1	Mala selección de rodamientos	2	2	4	8
2	Excesiva carga	5	3	6	14
3	Falta de lubricación	5	4	4	13
4	Contaminación por partículas	4	3	5	12
5	Falla del sistema de lubricación centralizada	4	5	6	15
6	Elevada temperatura de operación	5	3	5	13
7	Montaje inadecuado de rodamientos	3	1	3	7
8	Bajo nivel de aceite lubricante	4	5	4	13
9	Grasa lubricante de baja calidad	3	4	3	10
10	Contaminación con agua	4	5	6	15
11	Corrosión interna por humedad	4	4	4	12
12	Excesiva vibración	2	6	5	13
13	Excesivo juego interno	3	4	5	12
14	Desalineamiento	2	5	4	11
15	Equipos sub dimensionados	1	3	3	7
16	Falta de monitoreo de condición	5	7	7	19
17	Falta de mantenimiento preventivo	3	6	4	13
18	Falta de acceso para el monitoreo	5	7	6	18
19	Incorrecta sincronización de velocidades	2	3	5	10
20	Mala maniobra de izaje de cargas	3	6	4	13

Fuente elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)



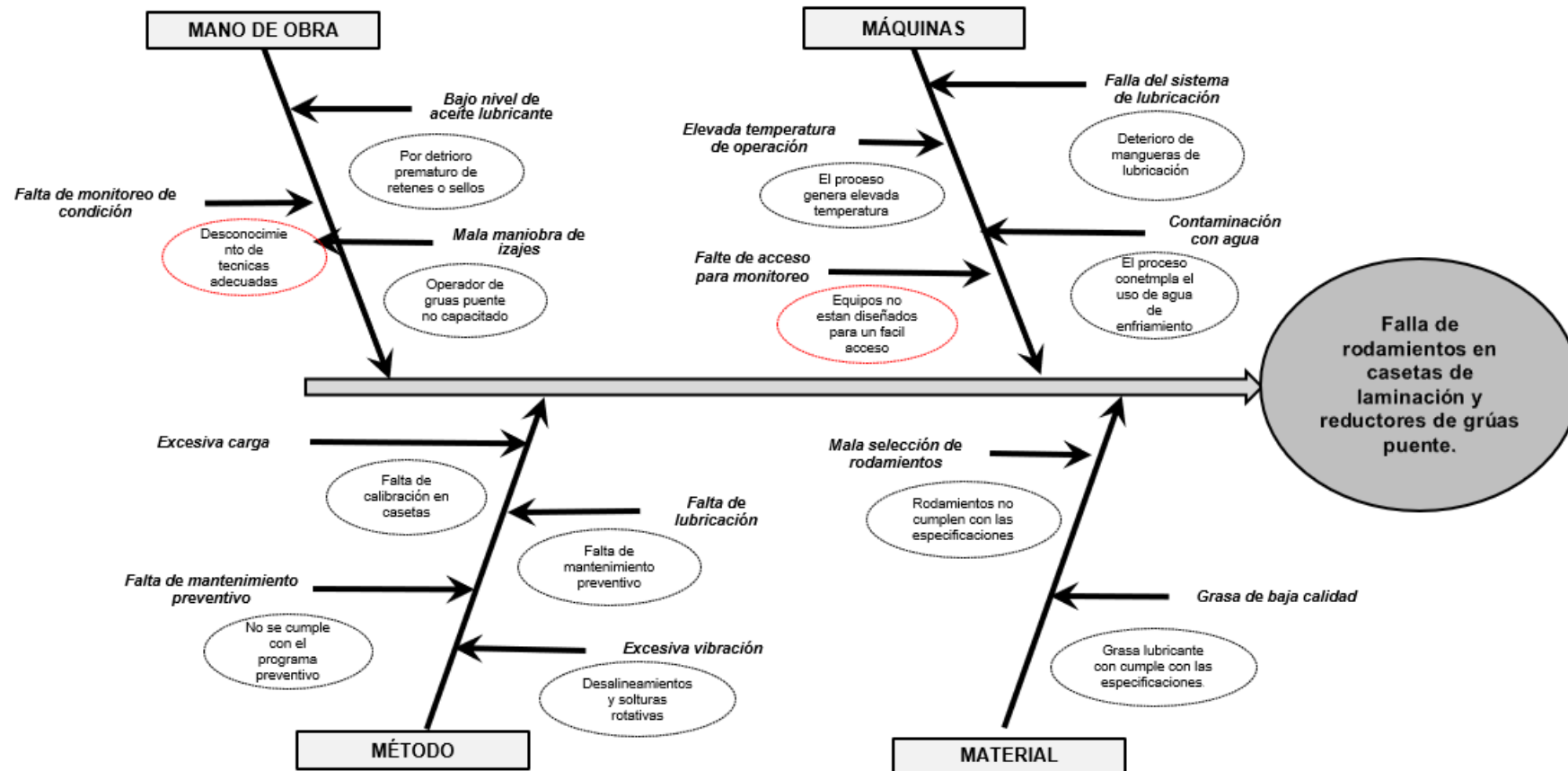


En el siguiente diagrama de causa – efecto del Dr. Kauro Ishikawa se puede observar adicionalmente otra sub-causas, las cuales también serán tomadas en cuenta para una solución general a los principales problemas.





Gráfico 7
Diagrama de Ichikawa



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)



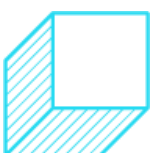


Luego de evaluar y determinar las causas o problemas principales, como cuarto paso usaremos la herramienta 5W+2H, determinando las medidas remedio o solución a los problemas.

Tabla 5
Análisis en Base a la Herramienta 5W+2H

5W+2H	PREGUNTA
¿Que?	¿ Qué proyecto se realizará? Se implementará un modelo predictivo en el contexto de la industria 4.0 para el monitoreo de vibraciones y temperatura.
¿Por qué?	¿ Por qué se realizará? Porque se tiene evidencia de fallas de rodamientos en casetas y reductores de grúas puente.
¿Dónde?	¿ Dónde se realizará el trabajo? Se realizará en las áreas de laminación y acería
¿Cuándo?	¿ Hay restricciones de tiempo? El proyecto se está implementando por etapas, en forma paralela.
¿Quién?	¿ Quiénes realizarán las tareas? Los responsables de la implementación será el personal de mantenimiento predictivo en conjunto con personal de ejecución de las diferentes áreas.
¿Cómo?	¿ Cómo será realizado? Se ha iniciado realizando pruebas piloto tanto en casetas de laminación como en reductores de grúas puente.
¿Cuánto?	¿ Cuánto rendimiento se espera? Se espera reducir las fallas de rodamientos imprevistas en casetas de laminación y reductores de grúas puente en un 75%.

Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)





Como ya se tienen los resultados del análisis y del diagnóstico general de las causas principales, se procede a establecer la planificación en función de la mejora propuesta en el proyecto, pero al mismo tiempo cabe indicar que los dos factores a tratar se relacionan con el resultado siguiente:

- A. Monitoreo de condición de los equipos
- B. Falta de acceso para realizar el monitoreo

Planificación de las actividades a realizar

- ✓ **Conformación del equipo de trabajo:** El equipo de trabajo está conformado por personal del área de mantenimiento predictivo y personal de procesos de cada área operativa, Laminación y Acería. Y en la etapa de capacitación en relación a la instalación y configuración del sistema de monitoreo estará el personal de la empresa proveedora de los accesorios tecnológicos.
- ✓ **Diseño y distribución para la instalación:** Tomando en cuenta que el proyecto será desarrollado en dos áreas diferentes, el diseño y la instalación será diferente para cada área.
En el área de laminación la solución deberá permitir la instalación de los sensores de forma fácil, cercana a los puntos de apoyo de las casetas, considerar la dirección de las cargas y salpicaduras de agua, propias del proceso de laminación en caliente.
En el área de acería la instalación deberá considerar la temperatura ambiente, operación con carga y distancia al colector de datos de vibración y temperatura.
- ✓ **Adquisición de los accesorios tecnológicos:** Se evaluaron diferentes alternativas de solución, desde la instalación de sensores fijos con entrega de señal al HMI (Interfaz hombre – máquina), hasta sensores





inalámbricos que entregan la señal a un colector y este a su vez la envía al software ubicado en la nube.

Debido a que nuestro principal problema radica en la falta de monitoreo y el difícil acceso a este, se optó por adquirir la solución inalámbrica, la cual tiene ventajas frente a la instalación convencional, tal como facilidad de instalación de sensores, no existe cables de transferencia de señal y mayor alcance o distancia para la recepción de los parámetros de vibración y temperatura.

Figura 5

Accesorios tecnológicos propuestos



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)





- ✓ **Instalación de los sensores y otros periféricos:** La instalación se realizara en horas disponibles a paradas de planta programadas, de manera que no exista riesgo para el equipo de trabajo. En cada área operativa se instara una zona especial para la ubicación del colector de datos, con acceso a conexión eléctrica de 220 v.

- ✓ **La prueba piloto del sistema:** (comparte con V) Una vez elegida la ubicación del colector y configuradas las rutas de inspección tanto para las casetas de laminación como para los reductores de las grúas puente, se realizaran las pruebas piloto. De los resultados obtenidos se evaluaran algunos problemas para la correcta adquisición de datos.

- ✓ **Recolección de datos sobre el funcionamiento del sistema:** Una vez colectada la información de vibraciones y temperatura, se verificara la correcta captura de valores globales de vibraciones, temperatura y captura de espectros de frecuencias.

- ✓ **Reporte de resultados de la prueba piloto:** Una vez evaluada la información colectada, así como eventos como coordinaciones para la instalación y posterior colecta de datos en operación, se enviara el reporte de resultados a todos los interesados.

- ✓ **Control e inspección para la calidad:** De la información colectada, valores globales y espectros de frecuencia, se realizara el análisis identificando frecuencias asociadas a defectos de rodamientos como BPFI, BPFO, BSF y FTF, así como otros problemas que podrían derivar de una falla imprevista de rodamientos, como soldaduras mecánicas, fricción, desalineación, etc. Esto será de vital importancia para saber si el sistema de monitoreo es eficiente.





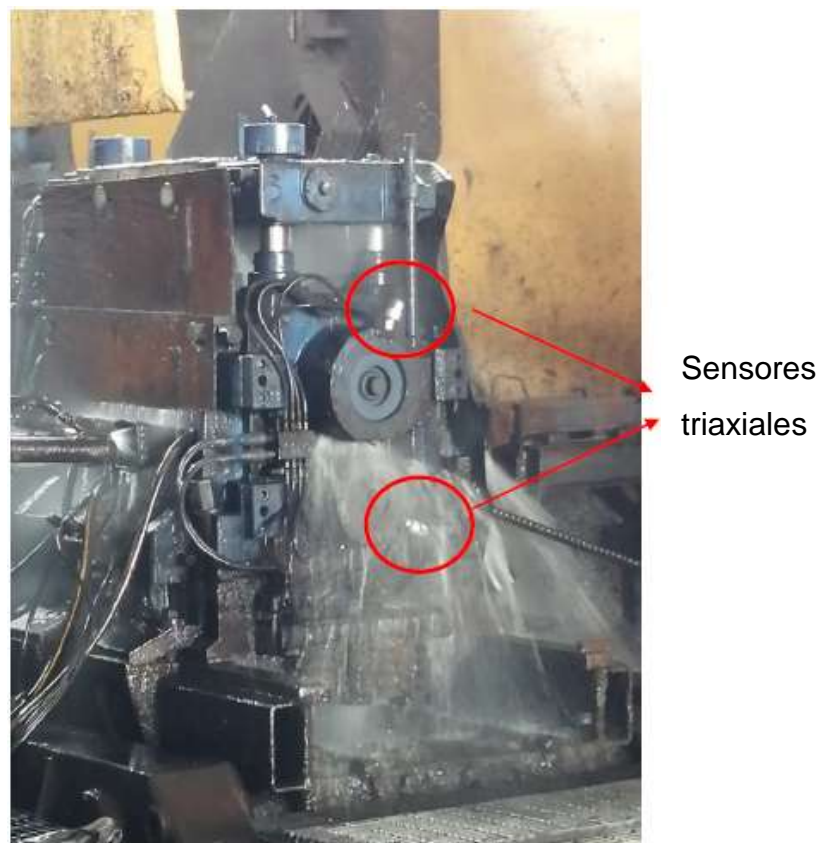
- ✓ **Propuesta para la estandarización:** Una vez que se evalúe la solución en general, se crearan planes de mantenimiento predictivo de estos equipos.

3.5.2. Hacer – Metodología de W. E. Deming

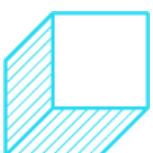
La implementación inicia con la instalación óptima de sensores triaxiales vía wireless en casetas del área de laminación, configurando la grabación de resultados con un intervalo de 5 minutos para coleccionar valores globales de vibración y temperatura y 10 minutos para la adquisición de espectros de vibración en el dominio de la frecuencia y en el dominio del tiempo.

Figura 19

Instalación de sensores en Caseta de Laminación



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)





Así mismo se realizó el montaje de sensores en los reductores del sistema de elevación de las grúas puente. Considerando que la señal de vibraciones y temperatura tiene un alcance de 500 metros, es posible efectuar el monitoreo remoto desde el nivel "0".

Figura 20

Instalación de sensores en reductores de grúas puente



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

Posteriormente se evalúan resultados en el software instalado en una laptop, cerca de las zonas a inspeccionar.



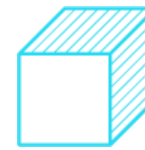
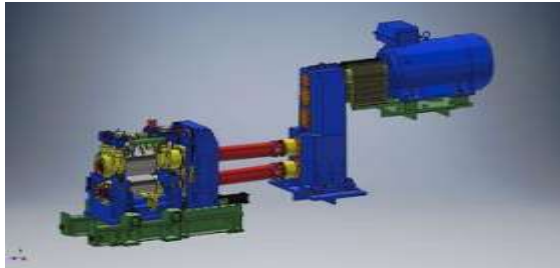


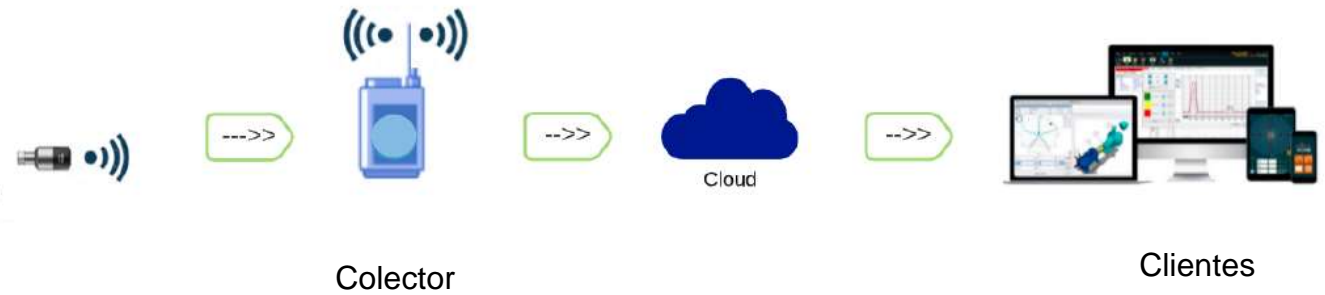
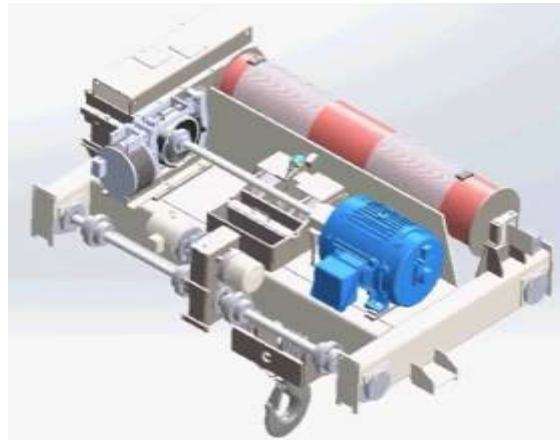
Gráfico 8

Esquema de monitoreo de vibraciones y temperatura

Casetas de laminación



Reductores de grúas puente



Fuente propia: (Munar Gutierrez, 2021)





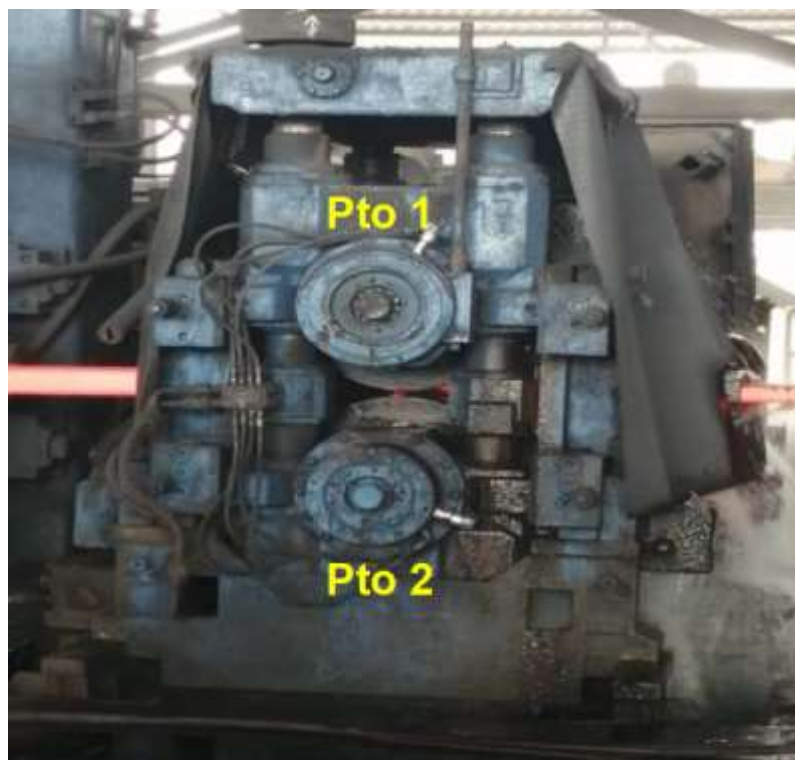
3.5.1. Verificar – Metodología de W. E. Deming

Continuando con la metodología PHVA en la etapa verificar, mencionaremos los resultados obtenidos tanto en el área de laminación con las casetas N°3 y N°16 del área de Laminación 2 y en el área de Acería 2 con el monitoreo del reductor de la grúa puente N°405.

En la imagen N° 11 se muestra la instalación de sensores de vibración y temperatura en la caseta N°3 del tren de desbaste, la velocidad en esta zona es baja, en promedio 15 rpm. En cada punto de medida, puntos 1 y 2, fueron configurados los rodamientos R313822 (rodamiento radial de rodillos cilíndricos) y 353162 (rodamiento axial de rodillos cónicos), para evaluar la condición de estos.

Figura 21

Instalación de sensores en Casetas de Laminación



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

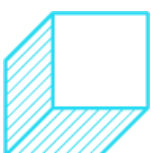
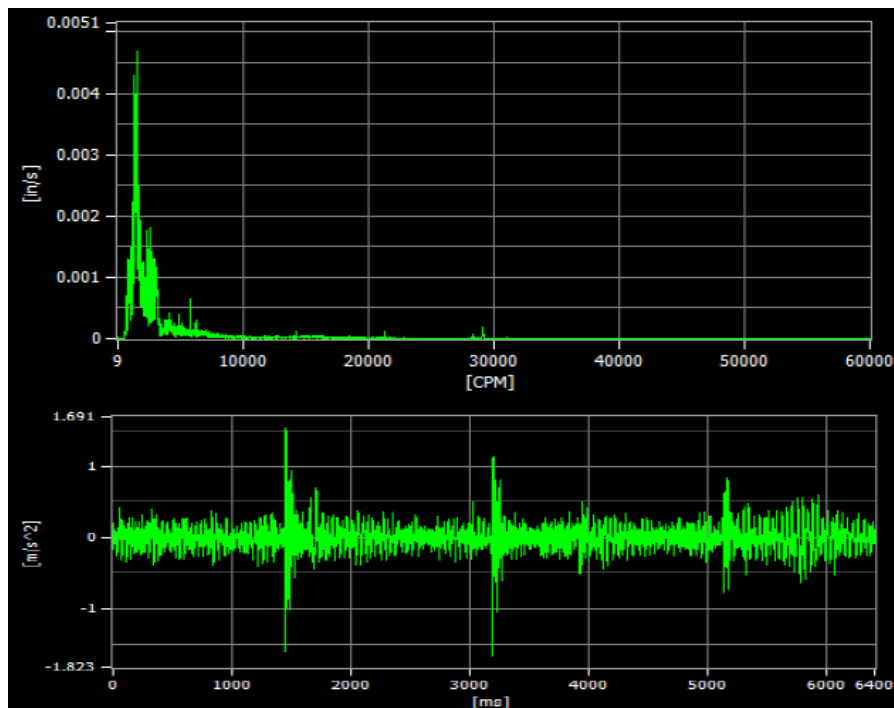




Gráfico 9

Espectros de frecuencia Caseta de Caja 03



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

En la imagen 12 se observa espectros de velocidad y onda en el tiempo de caseta 03, el diagnostico luego del monitoreo es el siguiente:

Rodamientos R313822: Se realizó monitoreo de vibraciones vía Wireless con un intervalo de 10 min teniendo una vibración máxima de 0.059 in/s, espectro de vibración presenta ruido de piso a baja frecuencia, grafico de forma de onda presenta impactos a 13 cpm (ciclos por minuto) de frecuencia de bajas amplitudes. Temperatura máxima 28°C.

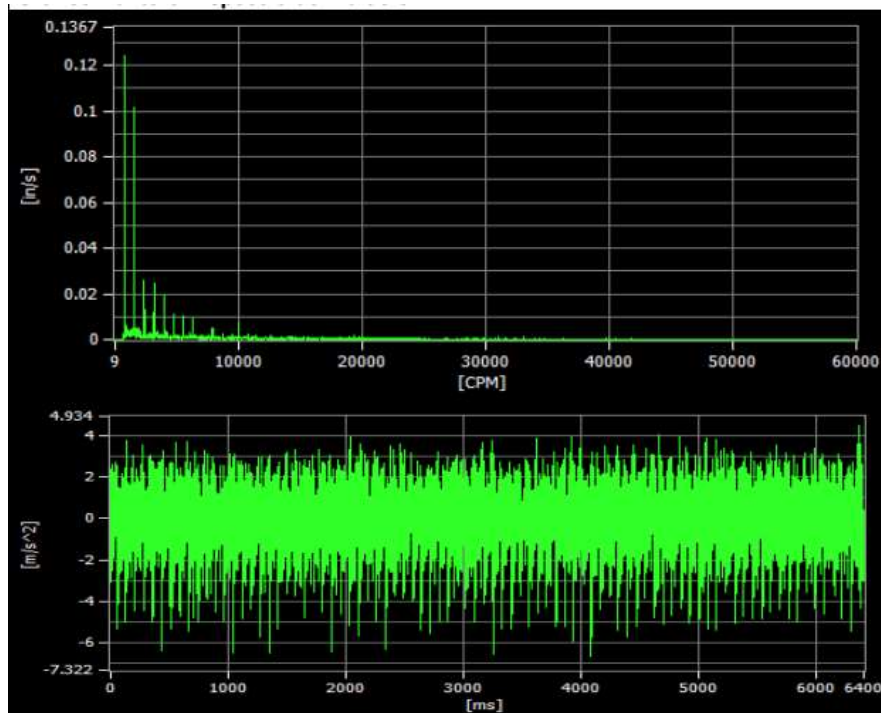
Rodamientos 313822: Se realizó monitoreo de vibraciones vía Wireless con un intervalo de 10 min teniendo una vibración máxima de 0.098 in/s, espectro de vibración presenta ruido de piso a baja frecuencia, grafico de forma de onda presenta impactos a una frecuencia de 13cpm en bajas amplitudes. Temperatura máxima 28°C.





Gráfico 10

Espectros de frecuencia Caseta de Caja 16



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

En la imagen 13 se observa espectros de velocidad y onda en el tiempo de caseta 16, el diagnostico luego del monitoreo es el siguiente:

Rodamientos R313812: Se realizó monitoreo de vibraciones vía Wireless con un intervalo de 10 min teniendo una vibración máxima de 0.448 in/s, espectro de vibración presenta frecuencia predominante a 787cpm (ciclos por minuto) con múltiples armónicos, debido a problemas de soldadura mecánica, grafico de forma de onda presenta impactos a una frecuencia de 787cpm. Temperatura máxima 37°C. Se tiene un delta de 9°C aproximadamente en comparación con los otros puntos monitoreados.

Rodamientos 300980: Se realizó monitoreo de vibraciones vía Wireless con un intervalo de 10 min teniendo una vibración máxima de 0.448 in/s,





espectro de vibración presenta frecuencia predominante a 787cpm con múltiples armónicos por soltura mecánica, grafico de forma de onda presenta impactos a una frecuencia de 787cpm. Temperatura máxima 29°C.

En el área de acería se efectuó la instalación de sensores en los reductores del sistema de elevación de la Grúa 405.

Figura 22

Reductor de sistema de elevación Grúa 405



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

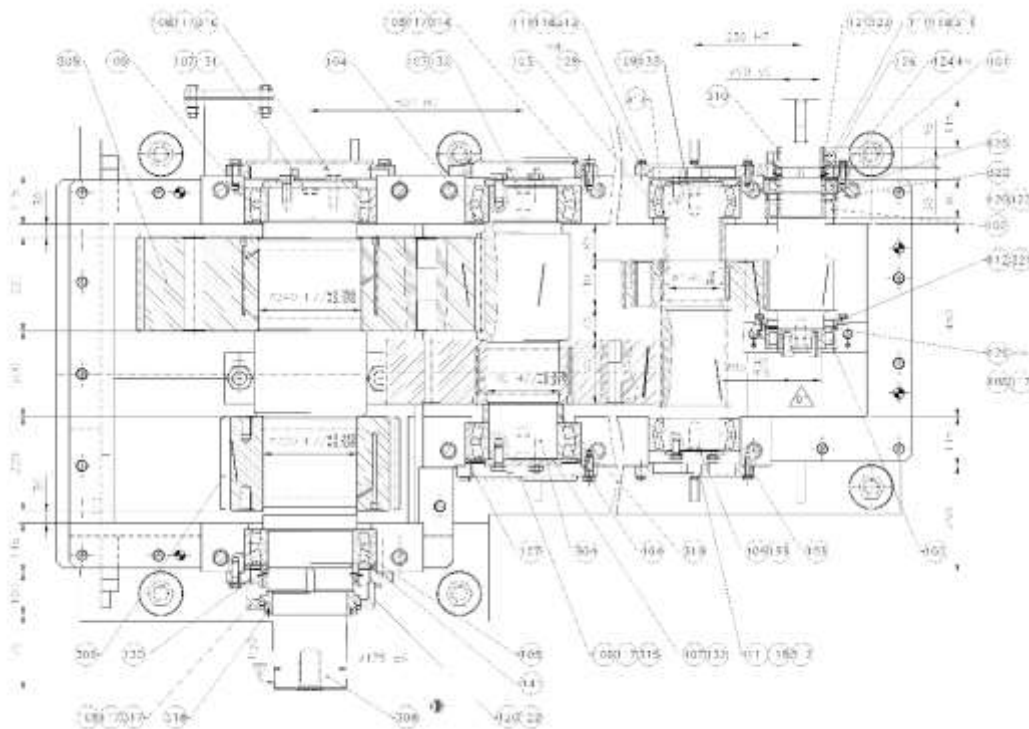
En la imagen 14 se muestra instalación de sensor en reductor del sistema de elevación de la Grúa 405, el monitoreo de vibraciones y temperatura se realizó en plena etapa de traslado carga de acero líquido, es decir a máxima carga.





Gráfico 11

Plano Reductor elevación auxiliar G405



Fuente elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

De la ilustración 2, plano de ensamble del reductor del sistema de elevación auxiliar de la grúa N°405, podemos observar la ubicación de los elementos de engrane, así como información relacionada a la cantidad de dientes por engranaje y piñón. También se muestra la ubicación de los rodamientos. Esta información es importante para determinar en el análisis de vibraciones, la condición del componente.

Imagen N°15 muestra espectro de velocidad y envolvente de aceleración del reductor del sistema de traslación carro de la grúa puente N°405, el diagnostico luego del monitoreo es el siguiente:

Reductor, muestra frecuencia de engrane (GMF) de la primera reducción, no obstante, no muestra frecuencias de falla de rodamientos





Q J219N2, NU2219 ECM/C3, 23224 CC/W33, 23132 CC/W33 y 23040 CC/W33.

Gráfico 12

Espectro velocidad reductor traslación Grúa 405



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

3.5.1. Actuar – Metodología de W. E. Deming

Para la etapa actuar, es decir mantener la solución actualizada o prevenir la ocurrencia de fallas prematuras de rodamientos para las casetas de laminación y reductores de grúas puente. Estandarizaremos la solución incluyendo el monitoreo de vibraciones y temperatura en los planes de mantenimiento predictivo de los equipos en mención.

En el software de planificación de recursos empresariales ERP SAP, se crearon planes de inspección vibracional, donde se indican: tiempo de ejecución, cantidad de personal para la tarea y descripción de los equipos.

Para el área de laminación se creó planes diferenciados por zonas, casetas de desbaste, casetas intermedias y casetas acabadoras, con una frecuencia mensual.





Para los reductores de grúas puente se incluye en el monitoreo los reductores del sistema de traslación puente y carro cada mes, y otro plan que incluye la inspección de reductores de elevación principal y auxiliar cada 3 meses.

Gráfico 13

Plan de Mantenimiento Vibracional

The screenshot displays a software interface for a vibration maintenance plan. The window title is "Plan mant. prev. 12-RQ1-0233 MONITOREO VIB. MOTO-RED. GRUAS HORN". The interface is divided into two main sections:

Ciclos

Ciclo	Unidad	Texto ciclo mantenimiento	Offset
	3MON	TRIMESTRAL	0

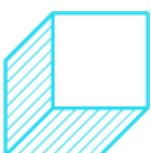
Resumen de posiciones

Posición mantenim.	Texto pos.mantenim.	E. N. E.	Ubicación técnica
12181	MONITOREO VIB. GRUA Nº 405	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1212H026
12182	MONITOREO VIB. GRUA Nº 406	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1212H026

Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

3.6. COSTOS DEL PROYECTO

Mediante el presente proyecto y utilizando la metodología de LCCA – Life Cycle Cost Analysis, se revisará la adquisición del sistema de monitoreo, con la finalidad de hacer una comparación eficaz de los datos, se van a tomar algunas consideraciones:





- ✓ Universo de equipos a analizar : 34 casetas de las Plantas de Laminaciones.
- ✓ Fallas no programadas por año : 9
- ✓ Costo de reparación : US\$ 37,251 (promedio)

- ✓ Universo de equipos a analizar : 20 reductores de grúas puente de las Plantas de Acería.
- ✓ Fallas no programadas por año : 4
- ✓ Costo de reparación : US\$ 12,302 (promedio)

Vida del proyecto : 5 años
Costo del capital de adquisición : US\$ 7,200
Tasa de descuento : 12%
Tasa de provisión : 38%

Para el cálculo asumiremos 2 escenarios:

- ✓ **Escenario 1** : No adquisición del equipo y seguir como estamos.
- ✓ **Escenario 2** : Adquirir el sistema de monitoreo de vibraciones y temperatura en el contexto de industria 4.0, considerando una disminución de fallas del 80%.

ESCENARIO 1

Este primer escenario considera las siguientes premisas para ambas áreas operativas.

- ✓ Fallas no programadas por año (actuales) : 13
- ✓ Costo de reparación : US\$ 12,000





- ✓ Costo de las fallas : US\$ 156,000 x año
- ✓ Gastos actuales con equipos de medición : US\$ 0,000 x año

Con la operación de estos datos mediante la metodología del LCCA tenemos un:

NPV - Net Present Value : – US\$ 350,889

IRR – Internal Rate Return : - (no existe)

Tabla 6
Resultados escenario 1

Life Cycle Cost Worksheet						
Discount Rate (%)	12%	of Life (35 yrs max)	5	Tax Provision (%)	38%	
	-350,889	Net Present Value		Internal Rate Of Return		
Capital Costs:	0	1	2	3	4	5
Capital Acquisition Costs	\$0					
Acquisition Costs:						
Program Management Costs						
Engineering Design Costs						
Engineering Data Costs						
Spare Parts & Logistics Costs						
Facilities & Construction Costs						
Initial Training Costs						
Technical Data Costs						
Documentation Costs						
Annual recurring costs:		\$1,000	\$1,000	\$1,000	\$1,000	\$1,000
Costs From LCC Simulation		\$156,000	\$156,000	\$156,000	\$156,000	\$156,000
Other periodic costs						
Savings:						
Annual Savings (use positive #s)						
NPV & IRR Calculations:	0	1	2	3	4	5
Capital equipment	\$0					
Costs	\$0	\$157,000	\$157,000	\$157,000	\$157,000	\$157,000
Savings	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Straight Line Depreciation	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Profit Before Taxes	\$0	-\$157,000	-\$157,000	-\$157,000	-\$157,000	-\$157,000
Tax Provision @ 38% Of Profit Before	\$0	\$59,660	\$59,660	\$59,660	\$59,660	\$59,660
Net Income can be profit or loss:	\$0	-\$97,340	-\$97,340	-\$97,340	-\$97,340	-\$97,340
Add Back Depreciation	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Cash Flow (Net Income + Depreciatc	\$0	-\$97,340	-\$97,340	-\$97,340	-\$97,340	-\$97,340
Discount Factors @ 12%	1.0000	0.8929	0.7972	0.7118	0.6355	0.5674
Present Value	\$0	-\$86,911	-\$77,599	-\$69,285	-\$61,861	-\$55,233
Net Present Value						
Internal Rate Return						

Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

ESCENARIO 2

Este segundo escenario considera las siguientes premisas.

- ✓ Fallas no programadas por año (asumido) : 2
- ✓ Costo de reparación : US\$ 12,000





- ✓ Gastos de repuestos y accesorios : US\$ 124
- ✓ Costo de las fallas : US\$ 24,000 x año
- ✓ Gastos futuros con equipos de medición : US\$ 1,800

Con la operación de estos datos mediante la metodología del LCCA tenemos un:

NPV - Net Present Value : US\$ 2,686

IRR – Internal Rate Return : 18.82 %

Tabla 7
Resultado escenario 2

Life Cycle Cost Worksheet

Discount Rate (%) → 12% of Life (35 yrs max) → 6 Tax Provision (%) → 38%

Net Present Value \$2,686 Internal Rate Of Return 18.82%

←Yellow Boxes Are For Data Input

	0	1	2	3	4	5
Capital Costs:						
Capital Acquisition Costs	\$7,200					
Acquisition Costs:						
Program Management Costs						
Engineering Design Costs						
Engineering Data Costs						
Spare Parts & Logistics Costs	\$124					
Facilities & Construction Costs						
Initial Training Costs						
Check-Tester						
Expenses for materials and supplies						
Annual MP extendel costs		\$24,000	\$24,000	\$24,000	\$24,000	\$25,800
Costs From LCC Simulation						
Other periodic costs						\$1,800
Savings:						
Annual Savings (use positive #s)		\$17,470	\$23,822	\$29,118	\$33,695	\$43,674
NPV & IRR Calculations:						
Capital equipment	\$7,200					
Costs	\$124	\$24,000	\$24,000	\$24,000	\$24,000	\$27,600
Savings		\$17,470	\$23,822	\$29,118	\$33,695	\$43,674
Straight Line Depreciation		\$1,440	\$1,440	\$1,440	\$1,440	\$1,440
Profit Before Taxes	-\$124	-\$7,970	-\$1,618	\$3,676	\$8,155	\$14,634
Tax Provision @ 38% Of Profit Before	\$47	\$3,029	\$615	-\$1,397	-\$3,069	-\$5,561
Net Income can be profit or loss	-\$77	-\$4,942	-\$1,003	\$2,279	\$5,086	\$9,073
Add Back Depreciation		\$1,440	\$1,440	\$1,440	\$1,440	\$1,440
Cash Flow (Net Income + Depreciation)	-\$7,277	-\$3,502	\$437	\$3,719	\$6,496	\$10,513
Discount Factors @ 12%	1.0000	0.8929	0.7972	0.7118	0.6355	0.5674
Present Value	-\$7,277	-\$3,127	\$348	\$2,647	\$4,128	\$5,965
Net Present Value						\$2,686
Internal Rate Return						18.82%

←Requires at least one positive and one negative number in the pr

Fuente elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

De acuerdo con los cálculos de NPV y IRR se tiene los siguientes resultados:

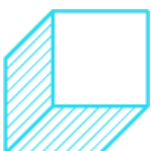




Tabla 8
Resultados de escenarios

Escenarios	NPV	IRR
Escenario 1	- US\$ 350,889	--
Escenario 2	US\$ 2,686	+18.82%

Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)

La metodología de LCCA indica que se debe seleccionar aquella alternativa que tenga el menor valor de NPV, es decir el escenario 2.

La alternativa contemplada en el escenario 2 es la más viable considerando también un IRR de + 18.82%.

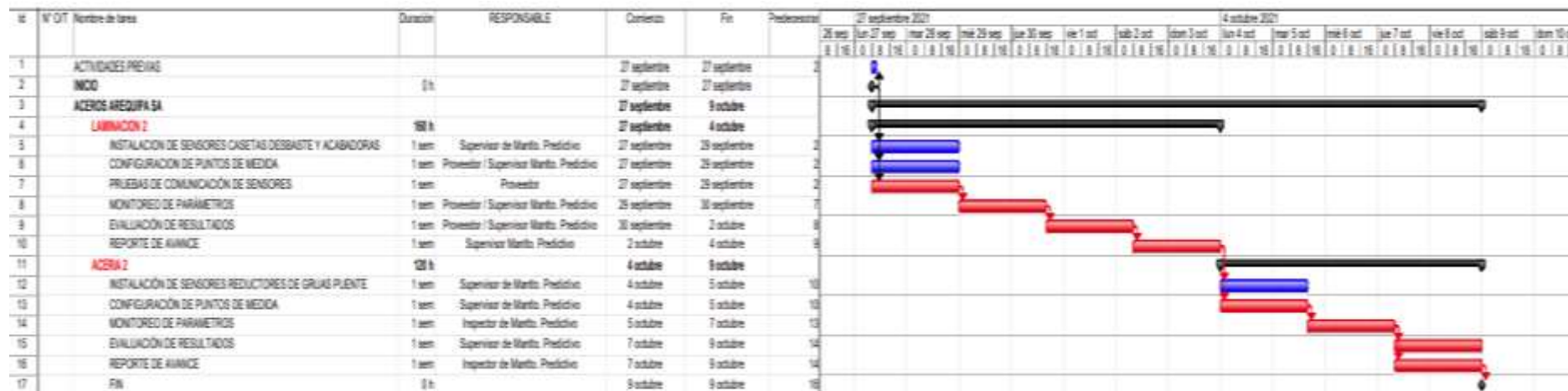
3.7. CRONOGRAMA DEL PROYECTO

En el siguiente diagrama de Gantt se detalla el plan para el desarrollo e implementación del modelo de mantenimiento predictivo en el contexto de industria 4.0, así como las pruebas de rendimiento del sistema de monitoreo de vibraciones y temperatura en el contexto de la industria 4.0 para los equipos de las áreas de laminación y acería





Tabla 9
Diagrama de Gantt del proyecto



Fuente de elaboración propia: (Munar Gutierrez, 2021)





3.8. CONCLUSIONES

- ✓ De los resultados de las pruebas piloto en las casetas de laminación, fue posible observar el comportamiento vibracional de los rodamientos.
- ✓ Del monitoreo de vibraciones y temperatura de las casetas, fue posible observar otras frecuencias involucradas, tales como solturas mecánicas y fricción por falta de lubricante.
- ✓ La instalación de los sensores fue sencilla y no genera riesgos para el personal de mantenimiento predictivo.
- ✓ De los resultados de las pruebas piloto en las grúas puente, es posible determinar la condición de los elementos de engrane y rodamientos cuando el equipo se encuentra operando a plena carga.
- ✓ Es posible realizar la recepción de los datos de vibraciones y temperatura desde el nivel "0", debido al mayor alcance de la señal.
- ✓ La solución es adaptable para cualquier equipo con características similares a los descritos en el proyecto, es decir importantes para el proceso y de difícil acceso.
- ✓ La información recolectada y descargada en la nube permite realizar un diagnóstico oportuno y programar la reparación y/o reemplazo de componente.
- ✓ La información podrá ser descargada directamente por las personas responsables de los equipos, directamente en sus celulares.
- ✓ Con el desarrollo del modelo predictivo en el contexto de la industria 4.0 para el monitoreo de vibraciones y temperatura, fue posible realizar el monitoreo de los equipos críticos del área de laminación y acería.

3.9. RECOMENDACIONES

- ✓ Para realizar la instalación de los sensores de vibración y temperatura, será necesario realizar la coordinación previa, entregando la documentación relacionada a la seguridad, como permisos de trabajo y análisis de riesgo de la actividad.





- ✓ Al iniciar la actividad de monitoreo, se deberá confirmar la correcta recepción de la señal de cada sensor.
- ✓ Para el monitoreo de vibración y temperatura de las casetas de laminación se deberá conocer el número de registro de estas, dado que estas podrían variar de posición dependiendo del producto a fabricar.
- ✓ El equipo de trabajo deberá capacitarse en la correcta instalación, configuración y procesamiento de las señales de vibración.
- ✓ Para la instalación de los sensores en las grúas puente se deberá conocer la temperatura ambiente, para evitar deterioro de estos.
- ✓ Para el análisis de vibraciones en reductores de grúa, se deberá conocer las frecuencias involucradas, es decir número de dientes de engranajes y piñones y número de rodamientos.
- ✓ En cada actividad de inspección se verificará el nivel de batería de los sensores.
- ✓ Eliminar residuos de óxido en superficies donde serán instalados los sensores.
- ✓ Esta implementación, abre las puertas para el desarrollo de la industria 4.0 en el mantenimiento en la Corporación Aceros Arequipa.





CAPÍTULO IV

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

Aceros Arequipa S.A. (2021). *Memoria anual y otros documentos de información digital y electrónico*. Obtenido de www.acerosarequipa.com:
<https://www.acerosarequipa.com/>

Ana Ines Basco, G. B. (Julio de 2018). *Industria 4.0: fabricando el futuro*. Buenos Aires.

BSG. (s.f.). <https://bsginstitute.com/>.

Creus Sole, A. (2010). *Intrumentación Industrial*. Barcelona: Alfaomega.

Munar Gutierrez, E. (2021). Trabajo de Suficiencia Profesional de la EPII - Para obtener el título de Ingeniero Industrial. *TSP - Ingeniería Industrial*. Ica, Perú: Electrónico&Digital.

REPUBLICA, P. D. (2012). Reglamento de la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. Perú.

Secretaria Central de ISO. (2018). *NORMA INTERNACIONAL ISO 45001*. Ginebra, Suiza.





CAPÍTULO V

GLOSARIO DE TÉRMINOS

FODA: El análisis FODA es un tipo de diagrama que se utiliza habitualmente en los negocios y la educación para estudiar los puntos fuertes, los puntos débiles, las oportunidades y las amenazas en una situación determinada.

SST: Las siglas SST se refieren a la Seguridad y Salud en el Trabajo; este es un derecho que beneficia a todos los trabajadores cuyo objetivo es la prevención de accidentes laborales, así como de las enfermedades que devengan de dichas actividades. No solo se refiere a términos de salud física, sino también psicológica

SAP: SAP es la abreviatura de la expresión alemana "Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung", que traducido significa "Sistemas, aplicaciones y productos para el procesamiento de datos".

PHVA: El ciclo **PHVA** implica 4 pasos: planear, hacer, verificar y actuar. ... Si deseas aprovechar una oportunidad, tu planificación debe enfocarse en los procesos o acciones necesarios para alcanzar dicha oportunidad.

PLC: Un Controlador Lógico Programable, más conocido PLC (Programmable Logic Controller, debido a sus siglas en inglés) es básicamente una computadora que se utiliza en la ingeniería de automatización para las industrias, es decir, para el control de la maquinaria de una fábrica o de situaciones mecánicas.

INTAL: (Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe) es un organismo del Banco Interamericano de Desarrollo, que forma parte del sector de Integración y Comercio de dicha Institución

AMETIC: Representante del sector de la industria tecnológica digital en España. Nuestros asociados son empresas de todos los tamaños e incluyen grandes empresas globales de TI, Telecomunicaciones, Electrónica, Servicios y Contenidos Digitales, empresas líderes en transformación digital, así como, asociaciones del sector.





DOP: El Diagrama de Operaciones del Proceso DOP es la representación gráfica y simbólica del acto de elaborar un producto o servicio. Este diagrama muestra las operaciones e inspecciones por efectuar, las relaciones sucesivas cronológicas y los materiales utilizados.

5W+2H: Es una herramienta de gestión que a través de 7 cuestionamientos nos permite elaborar un plan de acción de forma sistemática y estructurada. Su aplicación es sencilla y puede realizarse individual o en grupo.

HMI: Una interfaz hombre-máquina (HMI, Human Machine Interface) es una interfaz de usuario o panel de control que conecta a una persona con una máquina, sistema o dispositivo.

BPMI: (Ball Pass Frequency Inner) o frecuencia de deterioro de la pista interior. Se corresponde físicamente con el número de bolas o rodillos que pasan por un punto de la pista interior cada vez que el eje realiza un giro completo.

BPMO: (Ball Pass Frequency Outer) o frecuencia de deterioro de la pista exterior. Se corresponde físicamente con el número de bolas o rodillos que pasan por un punto de la pista exterior cada vez que el eje realiza un giro completo.

BSF: (Ball Spin Frequency) o frecuencia de deterioro de los elementos rodantes. Se corresponde físicamente con el número de giros que realiza una bola o rodillo del rodamiento cada vez que el eje realiza un giro completo.

FTF: (Fundamental Train Frequency) o frecuencia de deterioro de la jaula. Se corresponde físicamente con el número de giros que realiza la jaula del rodamiento cada vez que el eje realiza un giro completo.

GMF: (Gear Mesh Frequency) frecuencia de engrane, es la velocidad nominal del engranaje multiplicado por el número de dientes. La GMF es igual para piñón y engranaje.

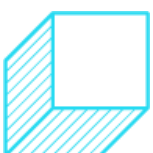
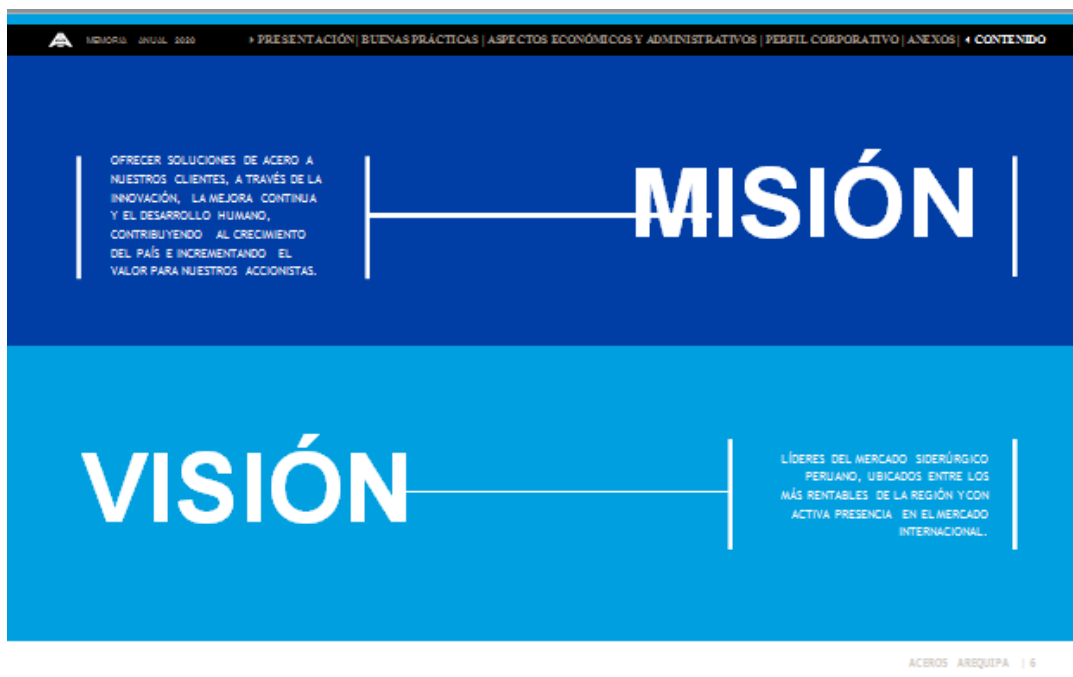


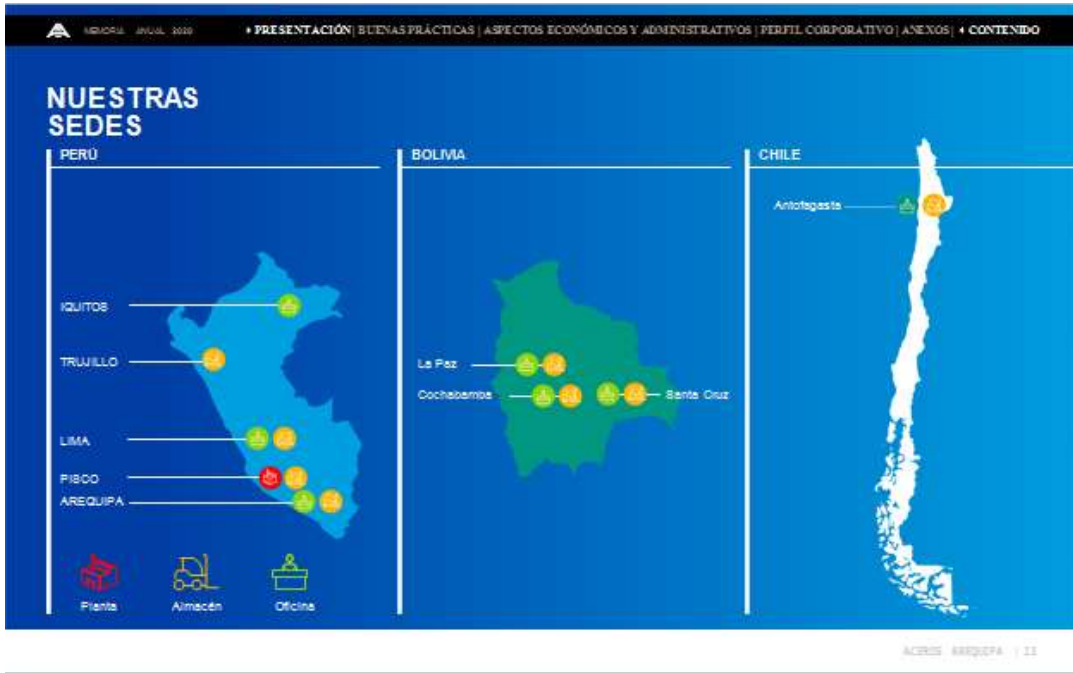


CAPÍTULO VI

ANEXOS

Anexo 1 Memoria anual 2020 Corporación Aceros Arequipa S.A.







Anexo 2 Industria 4.0: Fabricando el futuro



Autores:
Ana Inés Basco, Gustavo Beliz, Diego Coatz, Paula Garnero.

Ciudad de Buenos Aires, Julio de 2018.

Actividad
Ir a Cor





REVOLUCIÓN 4.0

El concepto de Revolución Industrial está ligado a cambios en las condiciones tecnológicas de producción. A lo largo de la historia hemos visto varios procesos de transformación radical donde el avance tecnológico ha impactado sustancialmente en las condiciones materiales y sociales de producción.

La Primera Revolución Industrial es identificada con la irrupción de la máquina a vapor, que tuvo sus primeras expresiones en Inglaterra en la segunda mitad del siglo XVIII, generando la migración de la población rural a las ciudades. La Segunda Revolución Industrial tuvo lugar cien años más tarde y fue impulsada por la generación de energía eléctrica, la producción en masa y la introducción de la línea de montaje. La Tercera Revolución Industrial en tanto, se inicia en los años setenta del siglo pasado con la automatización de procesos industriales gracias a los avances en la electrónica y la computación. La Cuarta Revolución Industrial, que ya está entre nosotros, se asocia con la informatización y digitalización de la producción, y con la generación, integración y análisis de una gran cantidad de datos a lo largo del proceso productivo y del ciclo de vida de los productos, facilitados fundamentalmente por Internet.

• EL NUEVO ALGORITMO INDUSTRIAL: SUS DIEZ PILARES

EN ESTE PERÍODO EL SECTOR MANUFACTURERO SE DIGITALIZA Y GANA IMPULSO CON EL AUMENTO DE LOS VOLUMENES DE DATOS, LA POTENCIA EN LOS SISTEMAS COMPUTACIONALES Y LA CONECTIVIDAD.

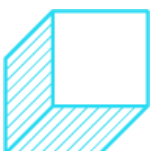
La Cuarta Revolución Industrial, a la que sólo separan de su precedente 50 años, se define como la transición hacia nuevos sistemas ciberfísicos que operan en forma de redes más complejas y que se construyen sobre la infraestructura de la revolución digital anterior (Klaus Schwab, 2016)⁷. Su particularidad radica en la **convivencia de una gran variedad de tecnologías convergentes, que borran los límites entre lo físico, lo digital y lo biológico**, generando una fusión entre estos tres planos y ocasionando un verdadero cambio de paradigma (Foro Económico Mundial, 2016)⁸.

De la mano de Internet, **la transformación digital configura un nuevo mapa tecnológico** en el que intervienen y se conectan en tiempo real todos los actores sociales (consumidores, empresas, gobiernos, organizaciones de la sociedad civil) a través de distintos dispositivos (teléfonos celulares inteligentes, computadoras, sensores) y plataformas digitales (*e-commerce*, *e-government*, redes sociales), cambiando la forma en que producimos, trabajamos y nos comunicamos. En la actualidad, mientras que en los países desarrollados la gran mayoría de las personas están conectadas a Internet, en los países de menor desarrollo, el acceso universal a este servicio es considerado como un derecho impostergable. Según un estudio del INTAL realizado en base a los datos de la encuesta Latinobarómetro 2017, el 88% de los latinoamericanos considera que para moverse en el mundo actual es indispensable saber usar Internet y el 77% prioriza el acceso universal incluso sobre el desarrollo de infraestructura básica como carreteras (INTAL-BID, 2017)⁹.

⁷ Schwab, Klaus. (2016). The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum.

⁸ Schwab, Klaus. (2016, 14 January). The Fourth Industrial Revolution: what it means and how to respond. Disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>

⁹ Basco, A. (2017). La techno-integración de América Latina: instituciones, comercio exponencial y equidad en la era de los algoritmos. Buenos Aires: INTAL BID. Disponible en: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11362/46157/La-techno-integración-de-América-Latina.PDF>





REVOLUCIÓN 4.0

La novedad de esta época es que **la conectividad alcanza también a los objetos**, lo que es posible mediante internet de las cosas¹⁰. Así, se conectan las máquinas y las unidades productivas dentro de una misma empresa, e incluso, dentro de las cadenas de valor (proveedores, operarios, áreas comerciales, sistemas logísticos, consumidores, etc.). Para el Foro Económico Mundial, **la velocidad de los avances actuales no tiene precedentes** en la historia y las nuevas tecnologías involucran a casi todas las industrias de todos los países.

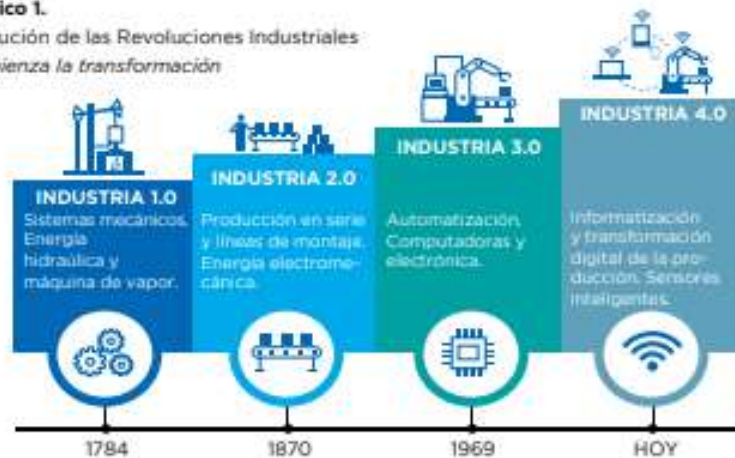
ORÍGENES DE UN CONCEPTO DISRUPTIVO

El concepto "Industria 4.0" surge en Alemania a comienzos de la década de 2010, acuñado por un grupo multidisciplinario de especialistas convocados por el gobierno alemán para diseñar un programa de mejora de la productividad de la industria manufacturera.

El término fue presentado por primera vez en la Feria de Hannover de 2011 y ganó protagonismo en muy poco tiempo. En la Feria de 2013 el grupo de especialistas presentó los resultados finales del estudio e hizo pública la estrategia del gobierno alemán para llevar a sus instalaciones fabriles a un nuevo estadio evolutivo. Así, el término "Industria 4.0" se convirtió en un eje central del Plan Estratégico de Alta Tecnología 2020 del gobierno alemán, y se instaló mundialmente como una de las referencias conceptuales de la Cuarta Revolución Industrial, aunque no es la única¹¹.

Desde la irrupción del término "Industria 4.0", las revoluciones anteriores fueron conceptualmente asociadas a estadios previos en la evolución del sector industrial, dando lugar a los conceptos de Industria 1.0, Industria 2.0 e Industria 3.0.

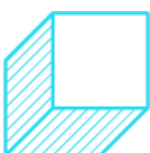
Gráfico 1.
Evolución de las Revoluciones Industriales
Comienza la transformación



Fuente: Adaptación en base a Hallward- Driemeier Gaurav Nayyar (2018). Trouble in the Making? The Future of Manufacturing-Led Development, Banco Mundial.

¹⁰ En una publicación de la Fundación Telefónica (año 2016), dedicada a abordar el tema de Internet Industrial, se refuerza esta idea mediante el aporte de personalidades de referencia en diferentes campos del conocimiento que ofrecen su visión sobre la significancia y el impacto de la internet de las cosas aplicada a la industria y a la producción de servicios. La publicación data del año 2016 y fue titulada: "Internet Industrial Máquinas inteligentes en un mundo de sensores".

¹¹ Otros términos como "Internet industrial", "Internet de todo", "Internet de las cosas para la fabricación", "empresa conectada", "fábrica inteligente", "empresa inteligente" son también utilizados para referirse a la Cuarta Revolución Industrial. En: Global manufacturing competitiveness index report. (2016). London: Deloitte. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Manufacturing/ge-global-mfg-competitiveness-index-2016.pdf>





REVOLUCIÓN 4.0

La Cuarta Revolución Industrial es la fase de la digitalización del sector manufacturero y está impulsada por el aumento de los volúmenes de datos, la potencia en los sistemas computacionales y la conectividad. Si bien muchas de las tecnologías que hoy convergen, ya existían, aunque de forma embrionaria y sin la robustez que hoy aportan, la diferencia con respecto al pasado se basa en la forma en que se combinan para generar disrupciones significativas.

Entre los pilares tecnológicos de la Industria 4.0 se destacan:

I | Sistemas de integración

Permiten integrar las tecnologías operacionales con las tecnologías de la información y la comunicación. Conectan máquinas con máquinas (M2M¹²), máquinas con productos, e integran las distintas áreas de la unidad productiva, impactando sobre la gestión interna de la empresa. Pero, además, permiten a través de plataformas digitales, la conexión entre la empresa y otros actores de su cadena de valor como proveedores, actores del sistema de logística y transporte, llegando hasta el cliente.

II | Máquinas y sistemas autónomos (robots)

Máquinas inteligentes que automatizan tareas que antes estaban circunscritas únicamente al dominio humano. En el mundo de la industria, la tendencia es avanzar sobre la automatización de los procesos productivos, la navegación y el control, la integración de sensores y actuadores, la comunicación de las interfaces. Se busca incrementar la robótica colaborativa¹³ para ir hacia fábricas inteligentes donde todas las áreas de la empresa puedan trabajar en forma conectada y con alto nivel de automatización en las tareas. Por ejemplo, una tendencia creciente en las fábricas inteligentes es la adaptación de vehículos de guiado automático (AGV) que pueden circular por la planta productiva, transportando productos intermedios y finales (de importante peso) desde una estación a otra, compartiendo el espacio con otros AGV y colaborando con los trabajadores.

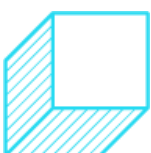
III | Internet de las cosas (IoT)

Permite una comunicación de forma multidireccional entre máquinas, personas y productos, facilitando la toma de decisiones en base a la información que la tecnología recoge de su entorno. Utiliza nuevos sensores y actuadores que, en combinación con el análisis de big data y de computación en la nube, permite máquinas autónomas y sistemas inteligentes (OECD, 2016)¹⁴. IoT es una tecnología clave para que la industria manufacturera avance hacia la fabricación de productos inteligentes (incorporando servicios sobre los productos), genere una relación más estrecha con los consumidores finales y capte información sobre el desempeño y el uso de sus productos, incluso cuando estén en posesión del cliente. Por ejemplo, electrodomésticos con IoT que, mediante una conexión Wi-Fi, reportan al fabricante información en tiempo real y precisa como fallas, consumo, horas de uso, etc.

¹² Por sus siglas en inglés, "Machine to Machine."

¹³ Se trata de una nueva generación de robots, caracterizados por ser ligeros, flexibles y fáciles de instalar y, diseñados especialmente para interactuar con humanos en un espacio de trabajo compartido sin necesidad de instalar vallas de seguridad.

¹⁴ Enabling the next production revolution: the future of manufacturing and services-interim report: Meeting of the OECD Council at Ministerial Level Paris, (2016, 1-2 June), Paris: OECD.





REVOLUCIÓN 4.0

IV | Manufactura aditiva

Permite fabricar piezas a partir de la superposición de capas de distintos materiales tomando como referencia un diseño previo, sin moldes, directamente desde un modelo virtual. Esta tecnología descentraliza las etapas de diseño y desarrollo de productos e introduce un mayor componente de servicios y *software* a la manufactura¹⁵. En la industria aeronáutica, por ejemplo, es utilizada para la producción de piezas más ligeras que las tradicionales, permitiendo ahorro de combustible debido al menor peso de los aviones. La impresión 3D ofrece enormes ventajas para reproducir piezas y objetos cuya fabricación conlleva cierta dificultad, ya sea por la especificidad y complejidad de su diseño o porque insume demasiadas horas de trabajo u obliga a reconfigurar máquinas y líneas, con enormes pérdidas de productividad. Por lo tanto, la manufactura aditiva se utiliza para prototipar y para producir componentes individuales muy específicos en lotes pequeños o series cortas¹⁶. La posibilidad de fabricar localmente podría impactar sobre el comercio en las cadenas globales de valor.

V | Big data y análisis de grandes datos

Se refiere a datos caracterizados por su volumen (gran cantidad), velocidad (a la que se generan, accede, procesan y analizan) y variedad de datos estructurados y no estructurados (OECD, 2016)¹⁷. Estos datos pueden ser reportados por máquinas y equipos, sensores, cámaras, micrófonos, teléfonos móviles, *software* de producción, y pueden provenir desde diversas fuentes, como empresas, proveedores, clientes y redes sociales. El análisis de estos datos mediante algoritmos avanzados es clave para la toma de decisiones en tiempo real, permite alcanzar mejores estándares de calidad de producto y procesos, y facilita el acceso a nuevos mercados (fenómeno que se conoce como Innovación basada en Datos¹⁸). Esta es una de las tecnologías de Industria 4.0 más demandada a nivel corporativo. Según una encuesta realizada por PwC, casi el 73% de las empresas relevadas dijo que el análisis de big data desempeña un papel fundamental en el proceso de toma de decisiones. Para los entrevistados, otro uso de esta herramienta es controlar y mejorar la planificación comercial y de fabricación y se la considera útil para obtener un mejor enfoque del cliente.

VI | Computación en la nube

Ofrece almacenamiento, acceso y uso de servicios informáticos en línea. Puede expresarse en tres niveles diferentes, según el servicio provisto: infraestructura como servicio, plataforma como servicio y *software* como servicio. Esta tecnología permite a las empresas acceder a los recursos informáticos de una manera flexible con un bajo esfuerzo administrativo y desde distintos dispositivos, ofreciendo agilidad, interoperabilidad y escalabilidad. Muchas de las aplicaciones que hasta hace poco requerían de la instalación de un programa en un servidor alojado en las empresas, ahora son ejecutadas de forma remota. Esto es clave para aplicaciones industriales con elevados requerimientos informáticos.

¹⁵ Fressoli y Smith (2015). Impresión 3D y fabricación digital: ¿Una nueva revolución tecnológica? Integración y Comercio IS (30), septiembre de 2015, p. 116-129; BID-INTAL. Disponible en: <https://publications.iadb.org/handle/11362/7262>

¹⁶ Pemas (2017). Impresión 3D y comercio. Conexión INTAL, Septiembre de 2017, INTAL-BID. Disponible en: <https://conexionintal.iadb.org/2017/10/02/el-comercio-toma-dimensión/>

¹⁷ Enabling the next production revolution: the future of manufacturing and services-intern report: Meeting of the OECD Council at Ministerial Level Paris. (2016, 1-2 June). Paris: OECD.

¹⁸ Data Driven Innovation (DDI por sus siglas en inglés). Según la OCDE, estudios realizados a nivel de empresa sugieren que el uso de DDI puede aumentar la productividad laboral en aproximadamente un 5-10%, en comparación con los no usuarios.





REVOLUCIÓN 4.0

VII | Simulación de entornos virtuales

Permite ajustar y representar virtualmente el funcionamiento conjunto de máquinas, procesos y personas en tiempo real antes de ser puestos en marcha, lo que ayuda a prevenir averías, ahorrar tiempo y evaluar el resultado final en un entorno controlado. Es decir, permite reducir los costos asociados a procesos de aprendizaje (de "prueba y error") mediante una representación virtual para el diseño de nuevos productos, o bien probar distintas configuraciones en las operaciones de la planta productiva. Por ejemplo, los operadores pueden probar (en el mundo virtual) distintas configuraciones hasta lograr una "configuración virtual óptima" que será luego plasmada en la línea física de producción. Además, las experiencias obtenidas en el mundo real servirán para mejorar el entorno virtual, generando una suerte de colaboración entre la planta física y su representación virtual ("planta virtual").

VIII | Inteligencia Artificial

Se basa en el desarrollo de algoritmos que permiten a las computadoras procesar datos a una velocidad inusual (tarea que antes requería de varias computadoras y personas), logrando además aprendizaje automático. Los algoritmos se nutren de datos y experiencias recientes y se van perfeccionando, habilitando a la máquina con capacidades cognitivas propias de los seres humanos como visión, lenguaje, comprensión, planificación y decisión en base a los nuevos datos. En la industria, permite el desarrollo de modelos neuronales aplicados a procesar imágenes reforzando la seguridad y el control de calidad; la predicción de series temporales de consumo eléctrico, y el desarrollo de estrategias de control para la gestión optimizada de estaciones de producción, entre otras¹⁹.

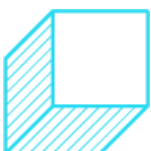
IX | Ciberseguridad

Es fundamental para que todas las demás tecnologías logren una adecuada penetración en esta fase de digitalización. La evolución hacia una industria inteligente y la integración creciente de los actores de las cadenas de valor a través de internet, la computación en la nube y las plataformas digitales, obliga a desarrollar mecanismos de la ciberseguridad en los entornos industriales. En la medida en que sean más los dispositivos, máquinas y personas conectadas, se valorará la oferta de herramientas preventivas que permitan detectar, anticipar y neutralizar amenazas sobre los sistemas de información de las empresas.

X | Realidad aumentada

Permite complementar el entorno real con objetos digitales. Se trata de sistemas que combinan la simulación, el modelado y la virtualización permitiendo nuevas fórmulas para el diseño de productos y la organización de los procesos, otorgando flexibilidad y rapidez en la cadena productiva. Estos sistemas tienen una variedad de aplicaciones, como la selección de piezas en un depósito, el envío de instrucciones para la reparación de fallas a través de dispositivos móviles o la capacitación de los recursos humanos en entornos virtuales

¹⁹ Algoritmolandia: Inteligencia Artificial para una integración productiva e inclusiva de América Latina (2018). Integración y Comercio. 22(44). Buenos Aires: IITAL-BID





REVOLUCIÓN 4.0

que simulan la realidad de la planta. Si bien esta tecnología se encuentra en un estadio inicial de desarrollo, se espera que las empresas hagan un uso mucho más amplio de ellas para proporcionar a los trabajadores información en tiempo real, mejorar la toma de decisiones y optimizar los procesos productivos (OCDE, 2016)²⁰.

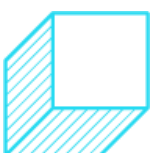
Gráfico 2.
Pilares Tecnológicos de la Industria 4.0.



La oferta de estas tecnologías se completa con otras: drones, sensores inteligentes, controladores, plataformas electrónicas abiertas, sistemas de localización, sistemas de autoidentificación y *blockchain*²¹ son algunos de los muchos ejemplos que emergen por la convergencia de los pilares tecnológicos mencionados y juegan un rol igualmente relevante en la amplificación de la matriz tecnológica actual. A lo largo de este documento, denominaremos a todo este universo tecnológico como "nuevas tecnologías industriales digitales" o "tecnologías 4.0".

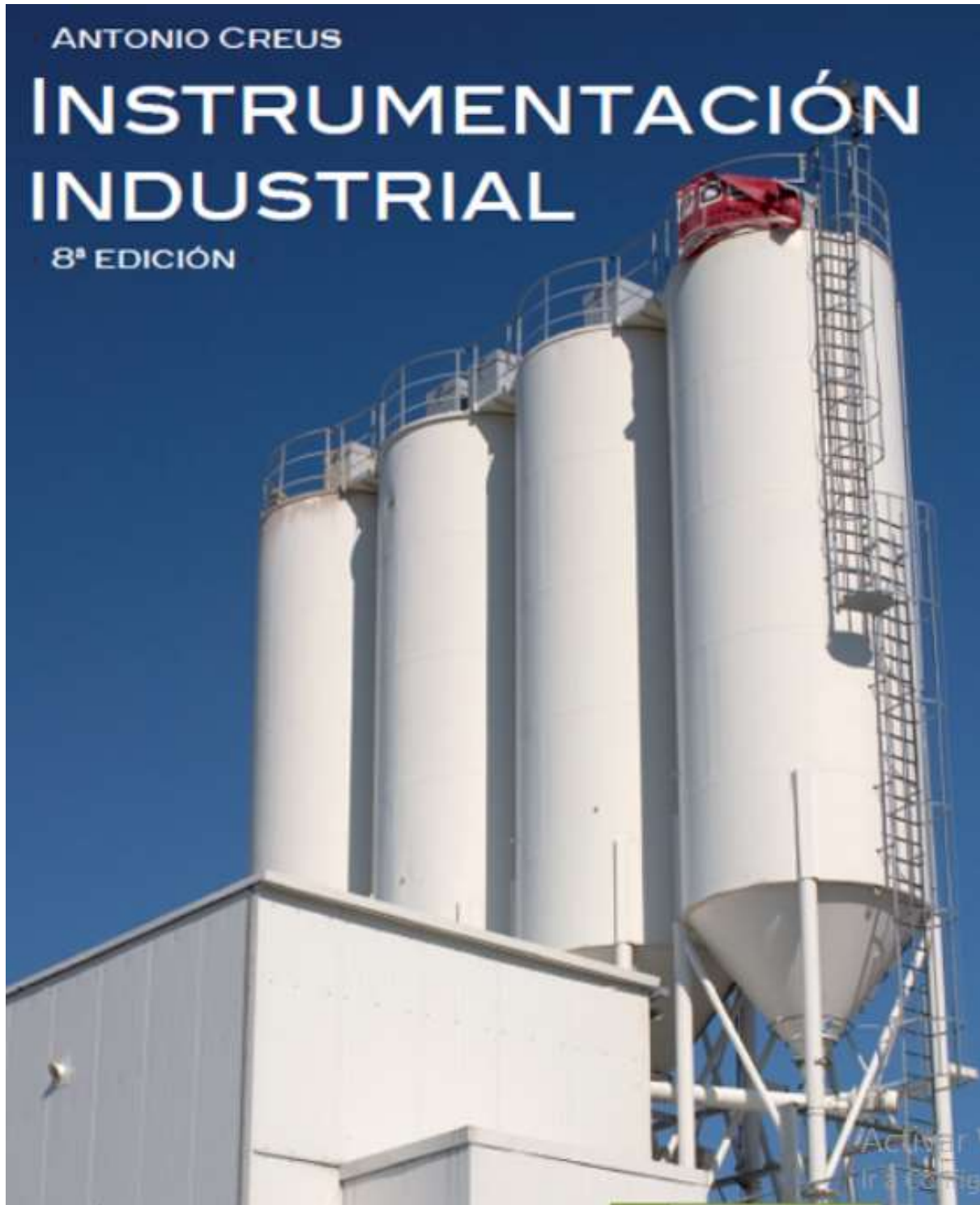
²⁰ Enabling the next production revolution: the future of manufacturing and services-interim report: Meeting of the OECD Council at Ministerial Level Paris, (2016, 1-2 June), Paris: OECD.

²¹ El Blockchain (cadena de bloques, en español) es una base de datos cifrada y distribuida (no centralizada), que permite la realización de transferencias de cualquier cosa que pueda ser digitalizada. Es cifrada porque las transferencias de datos se van grabando en bloques encadenados entre sí, cada bloque tiene un hash o contraseña numérica del bloque anterior, siendo prácticamente imposible modificar un bloque. Es distribuida porque los datos se guardan a modo de copias entre todos los equipos informáticos que forman la red, y no en un único servidor. Por lo tanto, al utilizar claves criptográficas y al estar distribuido por muchos ordenadores (personas) presenta ventajas en la seguridad frente a manipulaciones y fraudes. Gracias a estas dos características esenciales, el blockchain se considera como la mejor red peer-to-peer. Una de sus aplicaciones más difundidas son las criptomonedas, a nivel global se calcula que existen unas 1.500 criptomonedas distintas, operadas por 25.000 millones de personas (150.000 en Argentina), aunque su popularidad es creciente, el mercado global de criptomonedas es todavía "chico" (no supera los \$400.000 millones de dólares). Pero su potencial es enorme en varios sectores. Por ejemplo, se puede confiar la información de trazabilidad de un producto, de un contrato, de un registro de propiedad, del voto electrónico, entre otros.





Anexo 3 Ing. Antonio Claus Solé; Instrumentación industrial 8va edición





Capítulo 1

Generalidades

1.1 Introducción

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos: la fabricación de los productos derivados del petróleo, de los productos alimenticios, la industria cerámica, las centrales generadoras de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, etc.

En todos estos procesos, es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el pH, la conductividad, la velocidad, la humedad, el punto de rocío, etc. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar.

En los inicios de la era industrial, la operatoria de los procesos se llevaba a cabo con un control manual de estas variables utilizando sólo instrumentos simples, manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., control que era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos. Sin embargo, la gradual complejidad con que éstos se han ido desarrollando ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido liberando al personal de campo de su función de actuación física directa en la planta y, al mismo tiempo, le han permitido una labor única de supervisión y de vigilancia del proceso desde centros de control situados en el propio proceso o bien en salas aisladas separadas; asimismo, gracias a los instrumentos, ha sido posible fabricar productos complejos en condiciones estables de calidad y de características, condiciones que al operario le serían imposibles o muy difíciles de conseguir, realizando exclusivamente un control manual.

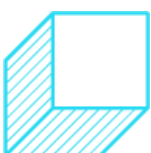
Los procesos industriales a controlar pueden dividirse ampliamente en dos categorías: procesos continuos y procesos discontinuos. En general, en ambos tipos deben mantenerse las variables (presión, caudal, nivel, temperatura, etc.), bien en un valor deseado fijo, bien en un valor variable con el tiempo de acuerdo con una relación predeterminada, o bien guardando una relación determinada con otra variable.

El sistema de control que permite este mantenimiento de las variables puede definirse como aquel que compara el valor de la variable, o condición a controlar, con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto.

El sistema de control exige pues, para que esta comparación y subsiguiente corrección sean posibles, que se incluya una unidad de medida, una unidad de control, un elemento final de control y el propio proceso. Este conjunto de unidades forman un bucle o lazo que recibe el nombre de lazo de control. El lazo puede ser abierto o bien cerrado (figura 1.1).

En el lazo de control abierto de la figura 1.1 el operador ajusta la válvula manual en la forma que cree conveniente para igualar el caudal del líquido de salida con el de entrada. Si los caudales de

Activar
la Conf





Instrumentación Industrial

entrada y salida son muy diferentes con picos de consumo desiguales, al operador le será difícil mantener un nivel constante de modo que tendrá que hacer ajustes con frecuencia. En cambio, en el control de lazo cerrado, una vez ajustada la posición del vástago de la válvula de control con la varilla del índice del flotador, el propio sistema se encargará de mantener el nivel en el punto deseado. Si en algún momento se presentan picos de caudal en la entrada, el nivel aumentará, con lo cual, la válvula de control abrirá para aumentar el caudal de salida y mantener así un nivel controlado, independientemente de la actuación del operador.

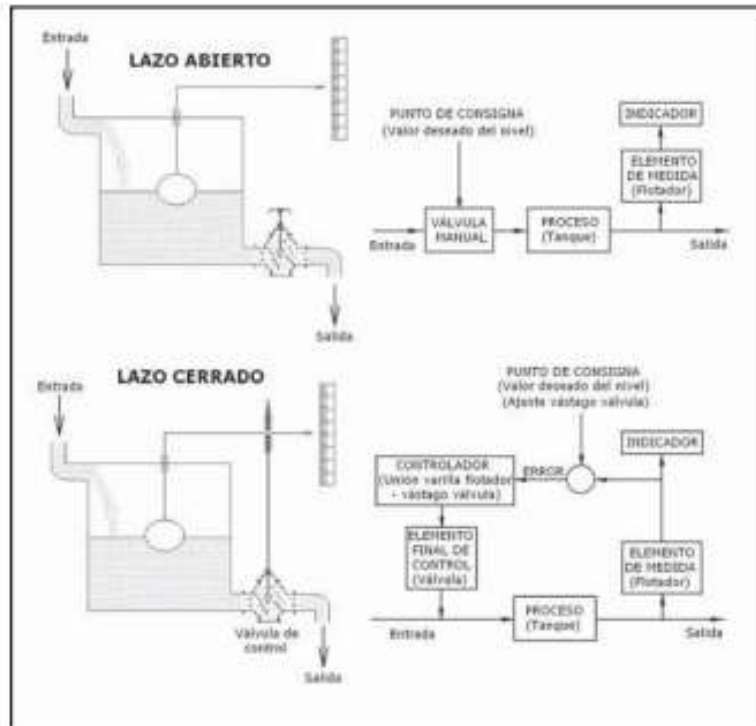


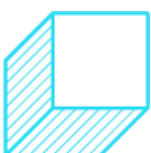
Figura 1.1 Control de nivel en lazo abierto y lazo cerrado

Otro ejemplo de lazo abierto es el calentamiento de agua en un tanque mediante una resistencia eléctrica sumergida. Los procesos con constantes de tiempo importantes o con retardos considerables son adecuados para el control en lazo abierto. La principal desventaja del lazo abierto es la pérdida de exactitud. No hay garantía de que la entrada manual al proceso sea la adecuada para llevar la variable al punto de consigna deseado. Otro ejemplo de lazo cerrado representativo lo constituye la regulación de temperatura en un intercambiador de calor (figura 1.2).

En ocasiones, el control de lazo cerrado debe operar en lazo abierto, tal como puede ocurrir en el arranque de procesos por parte de un operador experimentado con un buen conocimiento del proceso. El operador, en base a su experiencia, abrirá o cerrará el elemento final de control (válvula de control, etc.) más allá de lo que lo haría un lazo cerrado de control, con lo que conseguirá una mayor velocidad en la variable y alcanzar el punto de consigna en menos tiempo.

En ambos casos se observa que existen elementos definidos como el elemento de medida, el transmisor, el controlador, el indicador, el registrador y el elemento final.

Activa
la Conf





Anexo 4 Metodología PHVA

Etapa del ciclo	Paso núm.	Nombre del paso	Posibles técnicas a usar
Planear	1	Definir y analizar la magnitud del problema	Pareto, h. de verificación, histograma, c. de control
	2	Buscar todas las posibles causas	Observar el problema, lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa
	3	Investigar cuál es la causa más importante	Pareto, estratificación, d. de dispersión, d. de Ishikawa
	4	Considerar las medidas remedio	Por qué . . . necesidad Qué . . . objetivo Dónde . . . lugar Cuánto . . . tiempo y costo Cómo . . . plan
Hacer	5	Poner en práctica las medidas remedio	Seguir el plan elaborado en el paso anterior e involucrar a los afectados <i>(continúa)</i>

Etapa del ciclo	Paso núm.	Nombre del paso	Posibles técnicas a usar
Verificar	6	Revisar los resultados obtenidos	Histograma, Pareto, c. de control, h. de verificación
Actuar	7	Prevenir la recurrencia del problema	Estandarización, inspección, supervisión, h. de verificación, cartas de control
	8	Conclusión	Revisar y documentar el procedimiento seguido y planear el trabajo futuro





Anexo 5 Ley 29783 de seguridad y salud en el trabajo, 2012

448694

NORMAS LEGALES

El Fondo
Lima, sábado 28 de agosto de 2011

UNIVERSIDADES

Res. N° 04166-R-11.- Autorizan viaje del Rector de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos a Uruguay para participar en el "Encuentro Latinoamericano de Universidades por el Emprendedurismo Social" **448761**
Res. N° 04176-R-11.- Autorizan viaje de personal docente de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos a FF.UU. para participar en el curso "Lean Six Sigma" **448762**

Ordenanza N° 493-MDEA.- Aprueban Proceso de Elaboración del Plan Concertado de Lucha contra la Tuberculosis en el distrito **448765**

MUNICIPALIDAD DE LURIN

Ordenanza N° 231/ML.- Aprueban procedimiento de regularización de edificaciones y habitaciones urbanas ejecutadas sin licencia municipal **448765**

GOBIERNOS REGIONALES

GOBIERNO REGIONAL DE LORETO

Ordenanza N° 008-2011-GRL-CR.- Aprueban Plan de Reestructuración de Deudas e Incentivos de Loreto - PREDIL **448763**

PROVINCIAS

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CUSCO

Acuerdo N° 061-2011-MPC.- Autorizan viaje de trabajadores de la Municipalidad a Brasil para participar en el seminario "Operación y mantenimiento en plantas de asfalto ciber 2011" **448768**

GOBIERNOS LOCALES

MUNICIPALIDAD DE EL AGUSTINO

Ordenanza N° 492-MDEA.- Aprueban el Plan de Salud en el distrito **448764**

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE GROCIO PRADO

R.A. N° 018-2011-MDGPIA.- Amplian plazo para presentación de proyectos individuales de obras **448769**

PODER LEGISLATIVO

CONGRESO DE LA REPUBLICA

LEY N° 29783

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA,

POR CUANTO:

El Congreso de la República
Ha dado la Ley siguiente:

EL CONGRESO DE LA REPUBLICA,

Ha dado la Ley siguiente:

**LEY DE SEGURIDAD Y SALUD
EN EL TRABAJO**

TÍTULO PRELIMINAR

PRINCIPIOS

- I. PRINCIPIO DE PREVENCIÓN**
El empleador garantiza, en el centro de trabajo, el establecimiento de los medios y condiciones que protejan la vida, la salud y el bienestar de los trabajadores, y de aquellos que, no teniendo vínculo laboral, prestan servicios o se encuentran dentro del ámbito del centro de labores. Debe considerar factores sociales, laborales y biológicos, diferenciados en función del sexo, incorporando la dimensión de género en la evaluación y prevención de los riesgos en la salud laboral.
- II. PRINCIPIO DE RESPONSABILIDAD**
El empleador asume las implicancias económicas, legales y de cualquier otra índole a consecuencia de un accidente o enfermedad que sufra el trabajador en el desempeño de sus funciones o a consecuencia de él, conforme a las normas vigentes.

III. PRINCIPIO DE COOPERACIÓN

El Estado, los empleadores y los trabajadores, y sus organizaciones sindicales instituyen mecanismos que garanticen una permanente actualización y actualización en materia de seguridad y salud en el trabajo.

IV. PRINCIPIO DE INFORMACIÓN Y CAPACITACIÓN

Las organizaciones sindicales y los trabajadores reciben del empleador una oportuna y adecuada información y capacitación preventiva en la tarea a desarrollar, con énfasis en lo potencialmente riesgoso para la vida y salud de los trabajadores y su familia.

V. PRINCIPIO DE GESTIÓN INTEGRAL

Todo empleador promueve o integra la gestión de la seguridad y salud en el trabajo a la gestión general de la empresa.

VI. PRINCIPIO DE ATENCIÓN INTEGRAL DE LA SALUD

Los trabajadores que sufran algún accidente de trabajo o enfermedad ocupacional tienen derecho a las prestaciones de salud necesarias y suficientes hasta su recuperación y rehabilitación procurando su reinserción laboral.

VII. PRINCIPIO DE CONSULTA Y PARTICIPACIÓN

El Estado promueve mecanismos de consulta y participación de las organizaciones de empleadores y trabajadores más representativos y de los actores sociales para la adopción de mejoras en materia de seguridad y salud en el trabajo.

VIII. PRINCIPIO DE PRIMACÍA DE LA REALIDAD

Los empleadores, los trabajadores y los representantes de ambos, y demás entidades públicas y privadas responsables del cumplimiento de la legislación en seguridad y salud en el trabajo brindan información completa y veraz sobre la materia. De existir discrepancia entre el soporte documental y la realidad, las autoridades optan por lo constatado en la realidad.





Artículo 42. Investigación de los accidentes, enfermedades e incidentes

La investigación de los accidentes, enfermedades o incidentes relacionados con el trabajo y sus efectos en la seguridad y salud permite identificar los factores de riesgo en la organización, las causas inmediatas (factos y condiciones subestándares), las causas básicas (factores personales y factores del trabajo) y cualquier diferencia del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, para la planificación de la acción correctiva pertinente.

Artículo 43. Auditorías del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo

El empleador realiza auditorías periódicas a fin de comprobar si el Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo ha sido aplicado y es adecuado y eficaz para la prevención de riesgos laborales y la seguridad y salud de los trabajadores. La auditoría se realiza por auditores independientes. En la consulta sobre la selección del auditor y en todas las fases de la auditoría, incluye el análisis de los resultados de la misma, se requiere la participación de los trabajadores y de sus representantes.

Artículo 44. Efectos de las auditorías e investigaciones

Las investigaciones y las auditorías deben permitir a la dirección de la empresa que la estrategia global del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo logre los fines previstos y determinar, de ser el caso, cambios en la política y objetivos del sistema. Sus resultados deben ser comunicados al comité de seguridad y salud en el trabajo, a los trabajadores y a sus organizaciones sindicales.

CAPÍTULO VI

ACCIÓN PARA LA MEJORA CONTINUA

Artículo 45. Vigilancia del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo

La vigilancia de la ejecución del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, las auditorías y los exámenes realizados por la empresa deben permitir que se identifiquen las causas de su disconformidad con las normas pertinentes o las disposiciones de dicho sistema, con miras a que se adopten medidas apropiadas, incluidos los cambios en el propio sistema.

Artículo 46. Disposiciones del mejoramiento continuo

Las disposiciones adoptadas para la mejora continua del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo tienen en cuenta:

- a) Los objetivos de la seguridad y salud en el trabajo de la empresa
- b) Los resultados de las actividades de identificación de los peligros y evaluación de los riesgos;
- c) Los resultados de la supervisión y medición de la eficiencia.
- d) La investigación de accidentes, enfermedades e incidentes relacionados con el trabajo.
- e) Los resultados y recomendaciones de las auditorías y evaluaciones realizadas por la dirección de la empresa.
- f) Las recomendaciones del comité de seguridad y salud en el trabajo, o del supervisor de seguridad y salud en el trabajo y por cualquier miembro de la empresa en pro de mejoras.
- g) Los cambios en las normas legales.
- h) Los resultados de las inspecciones de trabajo y sus respectivas medidas de recomendación, advertencia y requerimiento.
- i) Los acuerdos convencionales y actas de trabajo.

Artículo 47. Revisión de los procedimientos del empleador

Los procedimientos del empleador en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo se revisan periódicamente

a fin de obtener mayor eficacia y eficiencia en el control de los riesgos asociados al trabajo.

TÍTULO V

DERECHOS Y OBLIGACIONES

CAPÍTULO I

DERECHOS Y OBLIGACIONES DE LOS EMPLEADORES

Artículo 48. Rol del empleador

El empleador ejerce un firme liderazgo y manifiesta su respaldo a las actividades de su empresa en materia de seguridad y salud en el trabajo; asimismo, debe estar comprometido a fin de proveer y mantener un ambiente de trabajo seguro y saludable en concordancia con las mejores prácticas y con el cumplimiento de las normas de seguridad y salud en el trabajo.

Artículo 49. Obligaciones del empleador

El empleador, entre otras, tiene las siguientes obligaciones:

- a) Garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores en el desempeño de todos los aspectos relacionados con su labor, en el centro de trabajo o con ocasión del mismo.
- b) Desarrollar acciones permanentes con el fin de perfeccionar los niveles de protección existentes.
- c) Identificar las modificaciones que puedan darse en las condiciones de trabajo y disponer lo necesario para la adopción de medidas de prevención de los riesgos laborales.
- d) Practicar exámenes médicos antes, durante y al término de la actividad laboral a los trabajadores, acordes con los riesgos a los que están expuestos en sus labores, a cargo del empleador.
- e) Garantizar que las elecciones de los representantes de los trabajadores se realicen a través de las organizaciones sindicales; y en su defecto, a través de elecciones democráticas de los trabajadores.
- f) Garantizar el real y efectivo trabajo del comité paritario de seguridad y salud en el trabajo, asignando los recursos necesarios.
- g) Garantizar, oportuna y apropiadamente, capacitación y entrenamiento en seguridad y salud en el centro y puesto de trabajo o función específica, tal como se señala a continuación:

1. Al momento de la contratación, cualquiera sea la modalidad o duración.
2. Durante el desempeño de la labor.
3. Cuando se produzcan cambios en la función o puesto de trabajo o en la tecnología.

Artículo 50. Medidas de prevención facultadas al empleador

El empleador aplica los siguientes métodos de prevención de los riesgos laborales:

- a) Gestionar los riesgos, sin excepción, eliminándolos en su origen y aplicando sistemas de control a aquellos que no se puedan eliminar.
- b) El diseño de los puestos de trabajo, ambientes de trabajo, la selección de equipos y métodos de trabajo, la atenuación del trabajo monótono y repetitivo, todos estos deben estar orientados a garantizar la salud y seguridad del trabajador.
- c) Eliminar las situaciones y agentes peligrosos en el centro de trabajo o con ocasión del mismo y, si no fuera posible, sustituirlos por otras que entrañen menor peligro.
- d) Integrar los planes y programas de prevención de riesgos laborales a los nuevos conocimientos de las ciencias, tecnologías, medio ambiente, organización del trabajo y evaluación de desempeño en base a condiciones de trabajo.





Anexo 6 Norma internacional ISO 45001, Primera edición

**NORMA
INTERNACIONAL** **ISO
45001**
Traducción oficial
Official translation
Traduction officielle

Primera edición
2018-03

**Sistemas de gestión de la seguridad y
salud en el trabajo — Requisitos con
orientación para su uso**

*Occupational health and safety management systems —
Requirements with guidance for use*

*Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail —
Exigences et lignes directrices pour son utilisation*

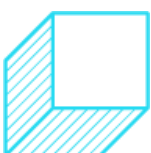
Publicado por la Secretaría Central de ISO en Ginebra, Suiza, como traducción oficial en español avalada por el *Translation Management Group*, que ha certificado la conformidad en relación con las versiones inglesa y francesa.



Número de referencia
ISO 45001:2018
(traducción oficial)

© ISO 2018

Este documento ha sido publicado por AENOR en castellano el 13 de Marzo de 2018.
Para poder utilizarlo en un sistema de red interna, deberá disponer de la correspondiente licencia de AENOR.





ISO 45001:2018 (traducción oficial)

8.1.3 Gestión del cambio

La organización debe establecer procesos para la implementación y el control de los cambios planificados temporales y permanentes que impactan en el desempeño de la SST, incluyendo:

- a) los nuevos productos, servicios y procesos o los cambios de productos, servicios y procesos existentes, incluyendo:
 - las ubicaciones de los lugares de trabajo y sus alrededores;
 - la organización del trabajo;
 - las condiciones de trabajo;
 - los equipos;
 - la fuerza de trabajo;
- b) cambios en los requisitos legales y otros requisitos;
- c) cambios en el conocimiento o la información sobre los peligros y riesgos para la SST;
- d) desarrollos en conocimiento y tecnología.

La organización debe revisar las consecuencias de los cambios no previstos, tomando acciones para mitigar cualquier efecto adverso, según sea necesario.

NOTA Los cambios pueden resultar en riesgos y oportunidades.

8.1.4 Compras

8.1.4.1 Generalidades

La organización debe establecer, implementar y mantener procesos para controlar la compra de productos y servicios de forma que se asegure su conformidad con su sistema de gestión de la SST.

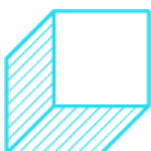
8.1.4.2 Contratistas

La organización debe coordinar sus procesos de compras con sus contratistas, para identificar los peligros y para evaluar y controlar los riesgos para la SST, que surjan de:

- a) las actividades y operaciones de los contratistas que impactan en la organización;
- b) las actividades y operaciones de la organización que impactan en los trabajadores de los contratistas;
- c) las actividades y operaciones de los contratistas que impactan en otras partes interesadas en el lugar de trabajo.

La organización debe asegurarse de que los requisitos de su sistema de gestión de la SST se cumplen por los contratistas y sus trabajadores. Los procesos de compra de la organización deben definir y aplicar los criterios de la seguridad y salud en el trabajo para la selección de contratistas.

NOTA Puede ser útil incluir los criterios de la seguridad y salud en el trabajo para la selección de los contratistas en los documentos contractuales.





Anexo 7 Reporte de vibraciones de caseta N°3 Laminación 2


Reporte Service	MÁQUINA ID : Tren de laminación 1	DESCRIPCIÓN : Chumacera	ÁREA : Laminación
------------------------	---	-----------------------------------	-----------------------------

VALOR MAX. RMS 0.058 in/s	CONDICIÓN NORMAL
-------------------------------------	-----------------------------------

<p>DIAGNOSTICO:</p> <p>Punto 1: rodamientos 313022 Se realizo monitoreo de vibraciones via Wireless con un intervalo de 10min teniendo una vibración máxima de 0.059 in/s, espectro de vibración presenta ruido de piso a baja frecuencia, grafico de forma de onda presenta impactos a una frecuencia de 13cpm en bajas amplitudes. Temperatura máxima 28°C.</p> <p>Punto 2: rodamientos 313022 Se realizo monitoreo de vibraciones via Wireless con un intervalo de 10min teniendo una vibración máxima de 0.058 in/s, espectro de vibración presenta ruido de piso a baja frecuencia, grafico de forma de onda presenta impactos a una frecuencia de 13cpm en bajas amplitudes. Temperatura máxima 28°C.</p>	<p>ESQUEMA</p> 
--	--

VALORES GLOBALES POR PUNTO	ESPECTROS DE MAYOR IMPORTANCIA
-----------------------------------	---------------------------------------

DATOS 11/12/2018				
Hora	Punto 1	Punto 2	Punto 1	Punto 2
	Valor In/s	Valor In/s	°C	°C
11/12/2018 13:40	0.050	0.045	28	28
11/12/2018 13:30	0.025	0.023	28	28
11/12/2018 13:20	0.059	0.058	28	28
11/12/2018 13:10	0.030	0.028	27	27
11/12/2018 13:00	0.038	0.047	28	27
11/12/2018 12:50	0.051	0.038	28	28
11/12/2018 12:40	0.033	0.033	27	27
11/12/2018 12:30	0.031	0.032	28	27

<p>RECOMENDACIONES:</p> <p>- Continuar con monitoreo de vibración y temperatura de los rodamientos para seguimiento de tendencia.</p>	<p>Grafico Punto 1: Espectro de vibración</p>  <p>Grafico Punto 1: Temperatura °C</p> 
--	---

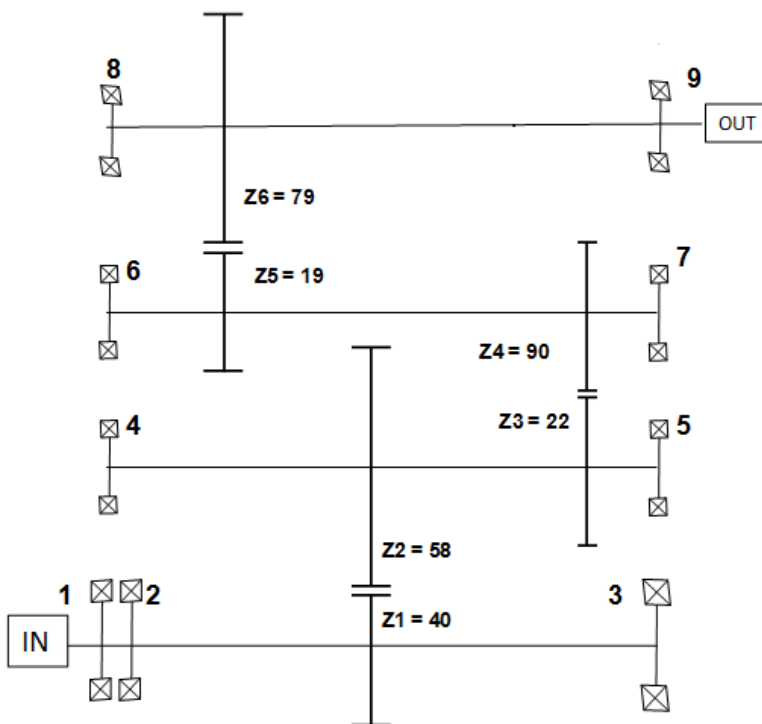




Anexo 8 Análisis de vibraciones de reductor Grúa 405 - Acería 2

ITEM	RODAMIENTOS
1	Q J219N2
2	NU2219 ECM/C3
3	NU2219ECM/C3
4	23224 CC/W33
5	23224 CC/W33
6	23132 CC/W33
7	23132 CC/W33
8	23040 CC/W33
9	23040 CC/W33

Z1	40
Z2	58
Z3	22
Z4	90
Z5	19
Z6	79



	1	2	3
RPM MOTRIZ	1430	2860.0	4290.0
RPM EJE N°2	986	1972.4	2958.6
RPM EJE N°3	241	482.1	723.2
RPM EJE N°4	58	116.0	173.9
RPM EJE N°5	58	116.0	173.9
GMF N°1	57200.0	114400.0	171600.0
GMF N°2	21696.6	43393.1	65089.7
GMF N°3	4580.4	9160.8	13741.1

