



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA MEJORA DE PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE
GALVANIZADO CONTINUO UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

José Alejandro López Córdova

Asesorado por el Msc. Ing. Luis Fernando Meda García

Guatemala, febrero de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA MEJORA DE PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE
GALVANIZADO CONTINUO UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

JOSÉ ALEJANDRO LÓPEZ CÓRDOVA

ASESORADO POR EL MSC. LUIS FERNANDO MEDA

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2021

DTG. 059.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA MEJORA DE PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE GALVANIZADO CONTINUO UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **José Alejandro López Córdova**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, febrero de 2021.

AACE/asga

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EEP-EIM-05-2020

El Director de la Escuela de Ingeniería en Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **PROPUESTA PARA LA MEJORA DE PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE GALVANIZADO CONTINUÓ UBIKADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario José Alejandro López Córdova, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'G. Morales Baiza'.



Ing. Gilberto Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería en Mecánica

Guatemala, noviembre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Paiz
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Veliz Padilla
EXAMINADOR	Ing. Edwing Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Sergio Torres Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA MEJORA DE PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE GALVANIZADO CONTINUO UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 31 de julio de 2020.

José Alejandro López Córdova

ACTO QUE DEDICO A:

Dios Por haberme permitido realizar una más de mis metas.

Virgen María Por ser parte de mi vida desde mi formación mariana.

Mi madre Por ser un ejemplo de vida, estar presente en todo momento como una guía y amiga.

Abuelos Rosa Córdova y Vicente López (q. d. e. p.), por ser una parte importante de mi vida, sabias enseñanzas y consejos que me acompañaran durante toda mi vida.

Familiares y amigos Por su apoyo y consejos.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la *alma mater* que me permitió
nutrirme de conocimientos.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme los conocimientos necesarios
para realizar este trabajo de graduación.

Siderúrgica

Por brindarme acceso a la información, para
desarrollar esta investigación.

Mis amigos

Por acompañarme en cada una de las etapas
importantes de mi vida.

Mi asesor

Msc. Ing. Luis Fernando Meda por su guía
para realizar este diseño de investigación.

**Familia y amigos en
general**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VIII
GLOSARIO.	IX
RESUMEN.....	XII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
3.1 Contexto general	9
3.2 Descripción del problema	10
3.3 Formulación del problema	10
3.4 Delimitación del problema	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1 General	15
5.2 Específicos	15
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
7. MARCO TEÓRICO	21
7.1 Proceso de producción de rollos galvanizados	21
7.2 Productividad	25

7.2.1	Elementos que impactan la productividad.....	26
7.2.2	Elementos para mejorar la productividad.....	27
7.2.3	Incidencia del mantenimiento en la productividad.....	27
7.3	Sistema de gestión de mantenimiento.....	29
7.3.1	Mantenimiento.....	30
7.3.2	Mantenimiento correctivo.....	31
7.3.3	Análisis causa raíz	32
7.3.4	Mantenimiento preventivo.....	34
7.3.5	Mantenimiento predictivo.....	35
7.3.6	Mantenimiento productivo total (tpm).....	38
7.3.7	Mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	41
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	43
9.	METODOLOGÍA	45
9.1	Características del estudio	45
9.2	Unidades de análisis	46
9.3	Variables	46
9.4	Fases del estudio	47
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	49
10.1	Técnicas de análisis de la información.....	42
10.2	Técnicas cualitativas	479 ... 42
10.3	Técnicas de recopilación de datos.....	43
11.	CRONOGRAMA.....	44
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	46
12.1	Recursos necesarios	46
13.	REFERENCIAS.....	47
14.	APÉNDICES	52

v^l

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama del proceso de galvanizado continuo	6
2.	Diagrama propuesto de solución del problema principal.	17
3.	Diagrama de la línea de galvanizado continuo	23
4.	Cronograma de las actividades a realizar.	51

TABLAS

I.	Desarrollo de actividades	19
II.	Variables a considerar para la resolución del problema	46
III.	Presupuesto estimado	54

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
us\$	Dólar, moneda de Estados Unidos
°C	Grado Celsius
Mm	Milímetros
m/min	Metros por minuto
%	Porcentaje
Q.	Quetzal, moneda de Guatemala

GLOSARIO

Aleación	Producto homogéneo con propiedades metálicas, que está constituido por dos o más elementos, de los cuales al menos uno es un metal.
Análisis estadístico	Es un componente del análisis de datos.
Chatarra	Es el conjunto de trozos de metal de desecho, principalmente hierro
Costo	Cantidad de dinero que cuesta una cosa.
Costo unitario	Es el gasto total por producir, almacenar y vender una unidad de producto o servicio
Decremento	Disminución.
Escoria	Subproducto de la fundición, mezcla de óxidos metálicos.
Falla	Error o imperfección que provoca que una cosa, en especial un mecanismo o un aparato, funcione mal.
Galvanizado	Proceso electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro.

Hipótesis	Suposición hecha a partir de unos datos que sirve de base para iniciar una investigación o una argumentación.
Mantenimiento	Conservación de una cosa en buen estado o en una situación determinada para evitar su degradación
Productividad	Capacidad de producción por unidad de trabajo
Tiempo Productivo	Totalidad del tiempo necesario para elaborar un producto determinado
ZincMetal	Clasificado como metal de transición, ya que tanto el metal como su ion positivo presentan el conjunto orbital completo.

RESUMEN

El proceso de galvanizado, es una técnica que se usa para proteger el acero de la corrosión desde hace mucho tiempo. La corrosión la causa una tendencia inherente de los metales cuando son sometidos al aire y a la humedad, que tienden a volver a su forma terrenal original, normalmente un estado de mineral. Lo hacen a través de una reacción química o electroquímica con el medio ambiente.

El galvanizado consiste en la inmersión de piezas de acero en zinc fundido para protegerlas de la corrosión y potenciar su fortaleza mecánica a los golpes y a la abrasión.

El procedimiento de galvanización en continuo se aplica a las chapas de acero (de hasta 3 mm de espesor).

Estos materiales se someten de manera continua a una fase previa de limpieza superficial, antes de hacerles pasar a una velocidad bastante elevada (hasta 200 m/min) por el baño de zinc. El espesor del recubrimiento se controla con precisión mediante cuchillas escurridoras de aire/vapor a presión en el caso de la chapa, o matrices mecánicas para el alambre.

1. INTRODUCCIÓN

La principal motivación para realizar este documento de estudio orientado en la línea de investigación, metodologías de la producción, es proponer una mejora en la productividad de una línea de galvanizado continuo ubicada en el departamento de Guatemala.

Actualmente, se ha reducido la productividad de esta línea, ya que se ha incrementado el tiempo productivo esperado para la producción mensual, y como consecuencia se ha incrementado el uso de los recursos para producir una tonelada de acero galvanizado.

Para este estudio se utilizarán cuatro fases las cuales se enfocarán principalmente en recolección de datos, para formar una estructura de tiempo productivo, análisis de costos reales los cuales se compararán con los costos esperados, por esta razón este estudio tiene un enfoque cuantitativo y un alcance correlacional y descriptivo.

Se realizará un análisis de tiempos en el proceso productivo, para evidenciar que se han incrementado los paros de línea no previstos y que son consecuencia de una falla en los equipos por un mal mantenimiento. Por lo que es necesario realizar un estudio de la frecuencia y duración de las fallas, así como determinar cuál es la causa del origen de estas, para que al finalizar este estudio se logre proponer un modelo de gestión adecuado, enfocado en mejorar la productividad de la línea.

También se efectuará un análisis del costo unitario del producto, para evidenciar que en los últimos meses se ha incrementado, debido al aumento de interrupciones de línea. Por ello, este proyecto enfoca en evidenciar que la mayoría de las interrupciones se pueden evitar, brindando a la gestión del departamento de mantenimiento la importancia que merece. Puesto que, para lograr cero defectos, es necesario que no ocurran fallas, por lo ello se pretende definir la incidencia de fallas dentro de tolerancias establecidas, que sean razonables y que permitan aumentar la productividad y por consiguiente la reducción de costos.

Asimismo, se realizará una breve descripción sobre el funcionamiento de la línea de galvanizado continuo, para conocer cuáles son sus consumos principales, y cómo puede afectar un paro de línea, al proceso productivo y a la productividad de esta línea, ya que al ser un proceso continuo se busca tener la menor cantidad de interrupciones para poder aprovechar los recursos de manera óptima.

En lo referente al área de mantenimiento, las únicas estrategias válidas son las que se encuentran encaminadas a aumentar la disponibilidad y eficacia de los equipos productivos, como a reducir los costes de mantenimiento, siempre dentro de un marco de la seguridad y preservación del medio ambiente.

En la actualidad, la administración del mantenimiento requiere no sólo una parte importante del presupuesto de las compañías, sino que además se hace fundamental para conseguir la eficiencia de los equipos y de los procesos productivos. Además, la creciente competitividad hace que las fábricas necesiten disponer de gran flexibilidad y cortos tiempos de respuesta. Por ello, en este entorno el mantenimiento juega un papel aún más importante.

Los indicadores fundamentales de la gestión de mantenimiento son: la disponibilidad y la eficacia, que van a indicarnos la fracción de tiempo en que los equipos están en condiciones de servicio y la fracción de tiempo en que su servicio

resulta efectivo para la producción. Para poder cumplir con estos indicadores el personal de mantenimiento necesita contar con el apoyo de la mayor cantidad de herramientas y técnicas de mantenimiento, que se encuentren dentro del presupuesto y necesidades de la empresa.

2. ANTECEDENTES

El proceso de galvanizado continuo que se estudiará, tiene como producto final un rollo de acero galvanizado, este material recubierto tiene una apariencia de color metálico brillante o con brillo satinado, con flor o apariencia uniforme. Este tipo de recubrimiento ayuda a evitar la corrosión del acero, su uso es ideal para estampado, rolado y pintado, que puede ser utilizado para techos, construcción de bodegas, recipientes de almacenamiento entre muchos otros.

Los metales, exceptuando los metales nobles, como el oro y la plata, se encuentran en la naturaleza en forma de óxidos o minerales. Un metal es útil debido a sus propiedades como metal puro, es decir libre de óxidos, pero si un metal no recibe el tratamiento de protección adecuado, este regresará a su estado natural, fundamentalmente con la formación de óxidos, es en este momento en el que ocurren los fenómenos de corrosión y oxidación, los cuales disminuyen la funcionalidad de las propiedades de los metales.

Para evitar este deterioro, se le aplica una capa protectora (habitualmente zinc) a la superficie del metal, para que sea esta capa la que se corroa en lugar de la pieza que se requiere proteger.

El revestido por inmersión en caliente es uno de los procesos de revestido de tipo sacrificial, consiste en recubrir la lámina en un baño fundido de aluminio y zinc a una temperatura de 460 °C aproximadamente (Galvanizers Association of Australia, 2015).

Melrose (2015) señala que este método se ha utilizado durante más de 150 años y garantiza protección contra la corrosión por décadas.

El proceso de galvanizado continuo consta de las siguientes etapas:

Figura 1. **Diagrama del proceso de galvanizado continuo**



Fuente: elaboración propia.

Este proceso continuo, requiere que se tenga la menor cantidad de paros posible, ya que, al ser un proceso continuo, el tener un paro programado o no, durante la operación de la línea, se incurre en extra-costos que aumentan el costo unitario del producto final.

Las herramientas más importantes para este tipo de proceso son las denominadas gráficas de control, las cuales son utilizadas para monitorear y controlar las características de procesos críticos, esto con el objetivo de fabricar unidades dentro de especificaciones con la menor variabilidad posible (Montgomery, 2009).

Algunos investigadores, centran en el análisis de costos del proceso de galvanizado, principalmente en la reducción del consumo de zinc puesto que este es el elemento principal de la producción junto con el acero, por ello es de vital importancia mantener bajo control su consumo como lo demuestra Akamphon, Sukkasi y Boonyongmaneerat (2012), quienes reflejan la importancia de integrar la dimensión económica al proceso productivo; también como lo indican Kong y White (2010), el proceso de galvanizado consume una gran cantidad de energía. Por lo tanto, el uso de los recursos debe de ser cuantificado especialmente en eventos que

se pueden evitar y es ahí en donde se debe centrar la reducción de costos. Para obtener un sistema de gestión de producción enfocado a utilizar una cantidad de recursos definidos, para alcanzar el máximo de producción (Krajewski, 2000).

Los japoneses haciendo uso de sus principios y filosofías, idearon y dieron forma a un sistema de producción que llevó a sus principales empresas a ser sinónimo de calidad, sino también de rentabilidad y productividad (Suarez, 2007). -

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 Contexto general

Para el análisis de estudio se ha elegido una empresa siderúrgica ubicada en el departamento de Guatemala, la cual tiene operaciones en Centro América con un total de 20 equipos productivos, con un rango de despachos anuales de 100 mil toneladas.

La empresa posee una línea de proceso continuo, cuya producción representa el 58 % de los despachos a nivel centroamericano, en la cual se han incrementado en un 50 % la duración de las interrupciones del proceso.

En el estatus inicial se ha presentado un total de 51 horas de paro al mes, debido a fallos en la línea, lo cual representa un 10 % de las horas disponibles para la producción.

Hasta el momento se han realizado mantenimientos correctivos, e inspecciones de la línea antes que esta inicie operación, pero se siguen presentando la misma estadística de paros e inconvenientes antes descrita.

3.2 Descripción del problema

En el último mes de operación de la línea que será el objeto de estudio, el 1.36 % de su producción fue degradado a chatarra, cuando el valor máximo esperado era

de 0.5 %, es decir la eficiencia esperada del equipo debería ser del 99.5 %, esto representa pérdidas para la empresa, las cuales serán cuantificadas en esta investigación, ya que este material no puede ser reutilizado en el proceso productivo por lo que es vendido como chatarra.

3.3 Formulación del problema

Para esta investigación se plantea la siguiente pregunta central:

- ¿Cómo se puede aumentar la productividad en una línea de proceso continuo?

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuáles son las causas principales del decremento de productividad del proceso de la línea de galvanizado?
- ¿Cuáles son las causas principales por las que se tiene interrupciones de línea?
- ¿Cuál es el impacto económico que se tiene en la línea de galvanizado, como consecuencia de las interrupciones de línea?
- ¿Qué cambios operativos o de gestión son necesarios para incrementar la productividad?

3.4 Delimitación del problema

El estudio de trabajo propuesto se llevará a cabo en una empresa siderúrgica ubicada en el departamento de Guatemala, y se enfocará en plantear una propuesta que permita aumentar la productividad en su línea de galvanizado.

Se determinará cuál es el impacto en el costo unitario, que se tiene como consecuencia del incremento en la frecuencia y duración de las interrupciones. Es necesario también identificar cuál es la causa raíz de la ocurrencia de estos paros no previstos durante el tiempo productivo.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se centra en la línea de investigación metodologías de la producción, productividad total, porque se pretende proponer una mejora en la productividad en la línea de galvanizado, por lo tanto es necesario identificar cuáles son las causas principales del decremento de la productividad, partiendo de la hipótesis que la causa es una mala gestión en el departamento de mantenimiento, lo cual genera un incremento en la frecuencia y duración de los paros no previstos en la línea y al ser un proceso continuo cualquier paro de línea incrementa el costo unitario del producto final, no solo por presentarse un mayor consumo de gases, hidrocarburos y energía eléctrica, sino que también debido a la generación de desperdicio de materia prima, al ser necesario degradarla como chatarra.

Se pretende demostrar, que es posible lograr una disminución de paros no programados, como consecuencia de una buena gestión de mantenimiento, que brinde un nuevo enfoque al mantenimiento, y que sea visto como una parte necesaria y vital del negocio.

Por lo anterior es necesario realizar una cuantificación del impacto económico que se tiene al tener una falla de línea y cómo afecta en el costo del producto terminado, es decir cómo una mala gestión de mantenimiento afecta la productividad de la línea en estudio.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Realizar una propuesta para aumentar la productividad en una línea de galvanizado de proceso continuo.

5.2 Específicos

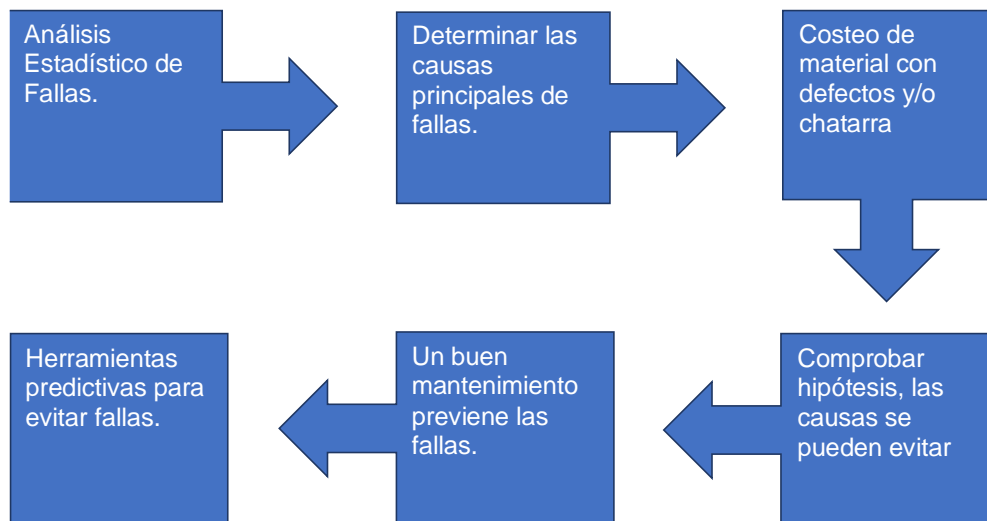
- Determinar cuáles son las causas principales que impactan en la productividad de una línea de galvanizado de proceso continuo.
- Determinar cuáles son las causas principales por las que se tienen interrupciones de línea.
- Calcular cual es el impacto económico y la eficiencia mensual que se tiene en la línea de Galvanizado, como consecuencia de las interrupciones en su proceso.
- Plantear cambios operativos o de gestión, según los resultados obtenidos, que ayuden a incrementar la productividad.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En una empresa, en la cual el personal es entrenado y motivado en la aplicación de técnicas estadísticas, siendo capaz de analizar los problemas y de responder con estrategias adecuadas, es posible lograr cero defectos. La calidad de los productos, demanda que sean creados por trabajadores motivados y capacitados, con equipos operando en condiciones óptimas.

En consecuencia, el mantenimiento adecuado ayuda a que se produzcan productos de calidad y que cumplan con los estándares especificados.

Figura 2. **Diagrama propuesto de solución del problema principal**



Fuente: elaboración propia.

Para este estudio, se pretende realizar un análisis estadístico para determinar la frecuencia y cantidad de fallas que ocurren en la línea de Galvanizado, para determinar su origen. Tener estas fallas implica un incremento en el costo del producto final, puesto que se consumen gases e hidrocarburos por ser un proceso continuo, también se genera material con defectos que no puede ser comercializado como material de primera y por último la generación de chatarra, material que no puede ser comercializado, todos estos costos adicionales impactan en el costo de producción.

La hipótesis con la que se inicia este estudio es que la fuente principal de la reducción de la productividad son las interrupciones y estas se deben a las fallas en el equipo por no tener un adecuado mantenimiento. En la mayor parte del tiempo el departamento de mantenimiento se dedica a “apagar incendios”, es decir a corregir fallas y no a prevenirlas. Es importante que se tenga una cultura de prevención y que se tenga cuantificado cuáles son las consecuencias de no tener una rutina de inspección que ayude a prevenir interrupciones y para llegar a una cultura de prevención es necesario conocer los diferentes tipos de mantenimiento y las herramientas que se pueden utilizar, para tener una prevención adecuada.

Tabla I. **Desarrollo de actividades y recursos necesarios para la resolución del problema propuesto**

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempo estimado
------------------	--------------------	-----------------	------------------------

Obtener interrupciones de la línea	Usando la herramienta de SAP, se obtendrán las interrupciones de la línea de galvanizado en duración y frecuencia.	Humano Computador	Esta etapa, estará concluida en el mes de diciembre 2020
Clasificación de interrupciones	Por medio de un análisis Pareto, se pretende identificar la causa de las interrupciones de línea, para así poder determinar cuál es la causa principal de las fallas y duración.	Humano Computador	Tres semanas, deberá estar concluido en la última semana de enero 2021.
Obtener datos de material de chatarra, generados por los paros de línea	Solicitar al departamento de calidad la cantidad de chatarra y material de segunda. (los datos se encuentran en SAP) generados en las interrupciones de línea.	Humano Computador	Esta etapa estará concluida a inicios del mes de febrero 2021
Costo de interrupciones	Con los datos obtenidos de la frecuencia, duración, generación de chatarra y material de segunda, se procede a realizar un análisis de costos.	Humano Computador	Duración un mes

Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 Proceso de producción de rollos galvanizados

El proceso de Galvanizado continuo tiene como objetivo el recubrimiento metálico sobre ambas caras de la lámina de acero, realizado mediante un método de inmersión en un baño de metal fundido a alta temperatura.

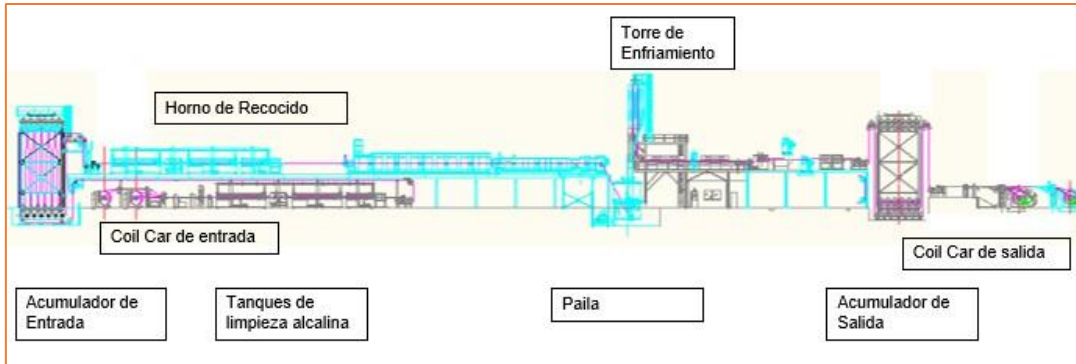
Las etapas del proceso son:

- Entrada, la línea de Galvanizado comienza en el sector de entrada, donde llegan los rollos a procesar y se retiran los materiales de empaque que pueda traer la materia prima. Dos mandriles desenrolladores se utilizan para reducir el tiempo de preparación de la unión entre el rollo que termina y el rollo entrante. La lámina se desenvuelve en un mandril desenrollador y un conjunto de rodillos la lleva hasta la cizalla, cuyo fin es descartar el material de la punta y cola del rollo y facilitar la alineación de la soldadura. Un acumulador vertical de entrada permite la continuidad a la sección de proceso, manteniéndolo a velocidad constante y permitiendo a la sección de entrada, el funcionamiento intermitente para el cambio de rollos y durante el proceso de soldadura entre punta y cola.
- Limpieza, la sección de limpieza, es uno de los elementos más importantes del proceso, puesto que su objetivo es eliminar los aceites y finos de fierro, antes de entrar en el horno de recocido continuo, el desengrasado puede ser tanto ácido como alcalino, éste suele ser una solución alcalina caliente

(Galvanizers Association of Australia, 2015). Esto proporciona una mejor condición de la superficie de la lámina para el proceso de recubrimiento, después del recocido de la lámina, asegurando una buena adherencia al producto y minimizando la producción de escoria de zinc formado en la paila por finos de hierro.

- Horno, el horno trabaja de forma continua con presión positiva en atmósfera controlada (está compuesta de una mezcla de hidrógeno y nitrógeno) para evitar el ingreso de oxígeno al interior, ya que esto provocaría la oxidación del material en proceso. La presión positiva se logra restringiendo la salida de los gases por los rodillos de sellos y controlado la chimenea y con los flujos y/o gastos de la mezcla de hidrógeno y nitrógeno.
- Recubrimiento. La paila tiene una capacidad de 80 toneladas métricas y usa tecnología de quemadores por diésel para calentar el baño a una temperatura de 460°C aproximadamente, a medida que la lámina se va recubriendo, el nivel del baño metálico en la paila disminuye, por lo que se debe reponer el nivel en forma constante mediante el agregado de lingotes.
- Salida, la línea cuenta con un acumulador vertical en la sección salida que permite asegurar la continuidad del proceso durante las tareas de inspección, corte de la lámina, aceitado y evacuación del rollo galvanizado, adicionalmente en esta sección, se garantiza la calidad del producto.

Figura 3. **Diagrama de la línea de galvanizado continuo, en la que se realizará el estudio**



Fuente: elaboración propia.

Los principales consumos que impactan en el costo unitario de un rollo galvanizado son:

- Aleaciones: las cuales se utilizan para el recubrimiento del metal base, su función principal es evitar la corrosión e incrementar el tiempo de vida del producto final, un desvío en este insumo se ve afectado en la calidad del proceso.
- Escoria: la generación de escoria se presenta por presencia de hierro, el cual es arrastrado a la paíla por medio de la lámina a galvanizar.
- Energía Eléctrica: se tiene un consumo propio de operación de 16 motores utilizados para los traslados de la lámina y ventiladores, y por consumo del horno, una variación en este insumo es por tener paros de línea durante la operación, así como la reducción de la velocidad del proceso.

- Gas de Propano: el consumo del gas es para uso en el horno, ya que se tiene que alcanzar temperaturas de por lo menos 550°C, las variaciones en este consumo son debido principalmente a arranques de operación, debido a paros de línea o disminución de la velocidad del proceso.
- Bunker: el bunker es utilizado en el proceso de combustión de las calderas que alimentan por transmisión de calor a los tanques de limpieza, este consumo se incrementa por la limpieza que requiera la materia prima.
- Diésel: El consumo de diésel se utiliza para mantener fundido el zinc en la paila, el aumento en su consumo es principalmente por arranques de línea debido a paro, ya que se tiene que elevar la temperatura de 280 °C a 460 °C.
- Gases: se utiliza Hidrogeno y Nitrógeno en el horno (para lograr obtener una atmosfera libre de oxígeno), se considera un sobregasto de Nitrógeno durante los arranques de línea para purga del horno y durante los paros de línea.
- Chatarra: la generación de chatarra debido a paros durante el proceso, ya que el material que se mantiene en paila y horno durante el paro o arranque no puede ser comercializado y es vendido como chatarra.

7.2 Productividad

En muchas ocasiones se confunde el termino productividad con producción puesto que se llega a creer que al tener mayor producción se es más productivo, y esta afirmación no es del todo correcta, ya que el termino de productividad está

relacionado a la relación entre producción y recursos utilizados para realizar dicha producción.

También se tiende a confundir el término de productividad con eficiencia, pero según Sumanth (1999) eficiencia es la razón obtenida de la producción real entre la producción esperada, en cambio García (2005), señala que la productividad al proceso de fabricar productos a un menor costo, pero como bien comenta Zandin (2005), la productividad es la relación entre el número de bienes producidos y la cantidad de recursos utilizados, lo que implica que al tener un incremento de productividad se reducen los recursos utilizados, es decir el costo unitario del producto disminuye, por consiguiente encontramos una relación inversa entre la productividad y el costo unitario.

Es por esta razón que para nuestro estudio será de vital importancia determinar no solo el incremento de tiempo que se ha utilizado para la producción de rollos galvanizados, sino que también debemos determinar cuál es el costo unitario, ya que así podremos no solo determinar el decremento de la productividad que se ha tenido en los últimos meses, sino que también determinar el extra costo que tiene nuestra producción, con esto se hará relevante el determinar cuál es la causa origen de estas pérdidas potenciales de utilidad que está absorbiendo la empresa para así poder determinar cuál es la mejor solución a esa problemática.

7.2.1 Elementos que impactan la productividad

La valoración monetaria de los gastos incurridos y aplicados en la obtención de un bien también afecta de forma directa en la productividad ya que el incremento en el costo unitario implica una reducción de la productividad. Estos costos incluyen el costo de los materiales, mano de obra y los gastos directos e indirectos de

fabricación, pagos de salarios, así como también los bienes y servicios consumidos en el proceso productivo (García, 2014).

El principal elemento que impacta la productividad es la generación de tiempo improductivo, cuyas causas principales son: incremento de ausentismo, paradas por falta de materia prima, paradas por mantenimiento no programados, para reparar fallas imprevistas que ocurren durante el proceso productivo. Esto tiene como efecto un incremento en el tiempo de fabricación, lo cual afecta a la productividad (Velasco, 2014).

7.2.2 Elementos para mejorar la productividad

Para mejorar la productividad se tienen que reducir las entradas, pero las salidas deben permanecer constantes, entendiendo como entradas a los recursos utilizados como: mano de obra, materia prima, tiempo, energía y capital, y salidas el producto terminado (Heizer y Render, 2009).

También se requiere de personal capacitado en el uso de herramientas y nuevas técnicas de producción o mantenimiento, para que puedan desempeñar de mejor forma sus actividades diarias. Por esto, se tienen que realizar evaluaciones de desempeño, que garanticen que se tiene mano de obra especializada para la tarea (Heizer y Render, 2009).

Las herramientas básicas que se pueden utilizar para mejorar la productividad son, diagrama Pareto, histogramas, graficas de control, diagrama causa efecto y

diagrama de dispersión. Estas herramientas ayudan a identificar el 80 % de los problemas que se presentan en el proceso.

7.2.3 Incidencia del mantenimiento en la productividad

El mantenimiento de los equipos productivos debe ser considerado como una actividad productiva dentro de la organización, para que pueda tener la importancia requerida y que se tenga una gestión adecuada, puesto que al tener un mantenimiento adecuado, se permite maximizar la disponibilidad de los equipos y minimizar los paros imprevistos y con esto aumentar los tiempos disponibles de los equipos, logrando de esta forma incrementar la productividad, rentabilidad y competitividad dentro de la industria.

Una gestión adecuada de mantenimiento ayuda a mejorar la utilización de los equipos, y por ende reducir costos de producción, como resultado adicional se tiene la conservación de equipos, lo cual ayuda a prolongar la vida útil y genera un correcto funcionamiento en los equipos (Hartmann, 2013).

Como lo comenta Durán (2003), entre los principales métodos de mantenimiento que se encuentran enfocados en aumentar la productividad se encuentran:

- Los métodos reactivos se basan principalmente en problemas que han ocurrido, pero se busca encontrar una solución rápida y eficaz, para evitar que se repita la incidencia de estos eventos, su mejor exponente es el análisis de causa raíz.

- Los métodos proactivos en donde se busca eliminar de forma paulatina las fallas, trabajando en los problemas observados, siendo una referencia de este tipo de métodos el mantenimiento productivo total.
- Mantenimiento centrado en la confiabilidad se centra en la confiabilidad de los equipos brindando una reducción de costos, confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

7.3 Sistema de gestión de mantenimiento

La gestión de cualquier proceso se basa fundamentalmente en el apoyo de las personas, principalmente en los equipos de trabajo para lograr los resultados deseados (Rubio, 2008). Es por ello que es de vital importancia que el personal cuente con las competencias requeridas para realizar una actividad.

La excelencia de la gestión se vincula con el resultado que se obtiene al relacionar, los indicadores de economía (medición de costos), eficiencia (productos generados vs recursos empleados) y eficacia (logros alcanzados vs logros esperados), esto sin reducir la calidad del producto o servicio (Aldana, Álvarez, Bernal, Díaz, González, Galindo y Villegas, 2010).

Un sistema de gestión está compuesto por 4 etapas, las cuales son: Ideación, la cual guía los primeros pasos del proceso, Planeación, en donde se establecen objetivos y estrategias organizacionales, Implementación, son las acciones para lograr los objetivos planteados y Control, verificar que los objetivos cumplen con los requerimientos. Estas etapas permiten trabajar una idea de forma ordenada, hasta que se logran las mejoras establecidas.

Por otro lado, también podemos visualizarlo desde el punto de vista de la gestión de procesos, la cual se basa en el círculo de Deming, el cual también contempla 4 etapas, las cuales son, planificar, hacer, verificar y actuar, estas se relacionan con las personas y sus procesos de labores diarias, enfocadas en un ambiente de orden enfocado a la calidad (Agudelo, 2017).

7.3.1 Mantenimiento

Tavares (2000) define el mantenimiento desde dos puntos de vista completamente diferentes, el primero es la más primitiva de las funciones del mantenimiento, es toda acción encaminada a devolver un equipo averiado sus características esenciales para un óptimo funcionamiento, pero mantenimiento también es aquella acción encaminada a aumentar la disponibilidad de las instalaciones reduciendo el número de fallas y su duración, ambas definiciones son válidas pero muy distantes entre sí en cuanto al resultado, ya que la primera definición está encaminada a atender crisis, puesto que se centra en reparar las fallas, es decir las fallas son las que rigen el mantenimiento y no se tiene un control sobre las mismas, en la segunda definición se centra en anticiparse a la ocurrencia de la falla para darle mayor cantidad de horas de operación sin que ocurran interrupciones en el equipo.

Es por ello que el mantenimiento según los requerimiento de cada tipo de industria se debe centrar en el principal objetivo del mantenimiento, el cual es brindar la mayor disponibilidad de los equipos para cumplir con su proceso productivo a su máxima capacidad de producción con una mínima interrupción y tener un menor costo en las reparaciones, por ello es importante que el mantenimiento se anticipe a los fallos, y no se centre en atender emergencias y regresar el funcionamiento idóneo a los equipos después que se pierda su óptima operación, puesto que en la mayoría de los procesos productivos existen pérdidas que no se encuentran cuantificadas,

denominadas pérdidas ocultas, las cuales son pausas breves que ocurren durante la operación causando pérdidas en la velocidad operativa y por consecuencia incrementando el costo unitario del producto (Hartmann, 2013).

Por eso es importante tener una planificación adecuada de las rutinas de mantenimiento que ayude a programar y a ejecutar los trabajos de mantenimiento utilizando las diferentes técnicas que puedan ayudar a definir los procedimientos adecuados y se fomente una cultura de disciplina para garantizar que las actividades de mantenimiento tengan una alta prioridad, se debe considerar que las principales actividades del mantenimiento deben estar encaminadas a prevenir o disminuir la ocurrencia de fallas, recuperar el desempeño óptimo, aumentar la vida útil de los equipos, cumplir con las normas ambientales y de seguridad establecidas (Duran, 2003).

7.3.2 Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento se basa principalmente en corregir fallas después de que estas ocurren. Las actividades que se realizan son como consecuencia de una falla imprevista y normalmente se ejecutan con carácter urgente, puesto que es necesario reestablecer el equipo a su condición de funcionamiento óptimo lo antes posible, esto genera un incremento en los costos de operación ya que al dejar de funcionar los equipos se incurre en costos de oportunidad, por reducir el tiempo productivo, esto afecta principalmente a líneas que se encuentran saturadas, pero también se incrementa el consumo de energéticos que alimentan las líneas cuyo proceso es continuo, las fallas que pueden originar un paro imprevisto son: defectos no detectados durante las inspecciones, utilizar equipos que no se encuentren en condiciones óptimas para la operación, errores operativos en la manipulación del

equipo, materia prima que no cumpla con las especificaciones de operación y ausencia de actividades de mantenimiento.

Es por esto que el mantenimiento correctivo a largo plazo presenta un incremento de costo para las empresas, puesto que la vida útil de los equipos tiende a reducirse, tiene un impacto directo en la productividad, un mayor inventario de repuestos, aumento de generación de materia prima improductiva debido a las fallas que puedan ocurrir, incremento del costo de mano de obra y el incremento de riesgos de seguridad (Tavares, 2000).

Como lo indica Amendola (2002), el mantenimiento correctivo es el más fácil de implementar, pero presenta las siguientes desventajas:

- Ocurre la falla en los equipos, y esto implica que los costos pueden ser muy altos.
- Se desconoce el momento en lo que ocurrirá el fallo, lo cual es inconveniente puesto que no se está preparado para atender la emergencia y puede que no se cuente con el personal especializado o el repuesto adecuado para regresar el equipo a su condición óptima.
- En procesos continuos es un gran inconveniente, ya que normalmente este tipo de proceso atiende necesidades esenciales o porque se manipulan alimentos o metales fundidos, y en este tipo de procesos la afectación de un paro puede ser muy grande.

7.3.3 Análisis causa raíz

Con la evolución de la tecnología, los procesos productivos sufrieron también grandes cambios, de pasar de utilizar un bajo porcentaje de tecnología y depender en su mayoría de la productividad de la mano de obra de sus colaboradores, y se

ha pasado a depender en su mayoría de la productividad de los equipos, los cuales son cada vez más complejos, y por consiguiente es aún más complejo determinar el origen de las fallas en estos equipos y por estar reparando las fallas imprevistas no se logra determinar las causas de su origen, por lo que estas seguirán ocurriendo si no se determina su origen. Sin embargo, también han evolucionado las técnicas para determinar las causas reales de las fallas, como enfrentarlas y atacar los síntomas que presentan. (Amendola, 2002).

Según Amendola (2002), el análisis de causa raíz es una herramienta que se centra en determinar la causa del origen de los fallos que se llegan a presentar, estas causas son lógicas y sus efectos se encuentran relacionados, por lo que es importante realizarlo para evitar la recurrencia de los fallos, ya que al identificar su origen se evita que ocurran en un futuro. Sus principales beneficios son:

- Reducción de fallas.
- Reducción de gastos y material defectuoso que se generan por la ocurrencia de fallas.
- Mejora la confiabilidad y la seguridad del equipo.
- Mejora la productividad de los procesos.

Amendola (2002), comenta que para poder aplicar este método es necesario aplicar las siguientes etapas:

- Definición del problema, identifica cual es el problema que se desea identificar, encontrar una mejora para el funcionamiento de los equipos o erradicar un problema que afecte la integridad del equipo.
- Análisis del problema, se deben tomar en consideración cada una de las piezas del problema para poder alcanzar una solución lógica, para poder

lograrlo se debe garantizar que se formará un equipo multidisciplinario que pueda aportar su punto de vista y no existan conclusiones preconcebidas.

- Identificar soluciones, se centra en los hallazgos y en las conclusiones, teniendo definidas las causas del origen se identifican las correcciones que se deben realizar para que no ocurra nuevamente la falla.
- Implementar soluciones, es la fase final de la metodología en donde se demuestra que las correcciones implementadas son correctas.

7.3.4 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo a veces es llamado mantenimiento histórico. En este tipo de mantenimiento se analizan la estadística de cada equipo para poder programar los mantenimientos adecuados, para evitar los fallos que han ocurrido con anterioridad (Grupo Reival C.A., 2014).

Consiste en la realización de rondas de supervisión o de sustitución en períodos fijos de tiempo.

Realizado a intervalos de tiempo regulares es un gran avance si se compara con el mantenimiento correctivo en relación con la prevención de fallos inesperados, pero no es un método óptimo para garantizar una máxima confiabilidad y seguridad, debido a la no periodicidad de la aparición de los fallos en una maquinaria, puesto que estos ocurren en intervalos de tiempo de acuerdo con una distribución (Dounce, 2014).

Como lo indica Amendola (2002), el mantenimiento preventivo presenta las siguientes desventajas:

- Se presentarán fallos inesperados entre los intervalos de reparación.
- Durante las rutinas de inspección se desmontarán muchas piezas que se encuentran en condiciones óptimas, pero al colocarlas nuevamente se puede incurrir en errores humanos y al finalizar el equipo puede quedar en condiciones que no son óptimas para la operación, las cuales no se tenían al iniciar la inspección.
- En una reparación general es necesario inspeccionar una gran cantidad de elementos mecánicos y eléctricos, para poder realizar esto correctamente es necesario invertir una gran cantidad de tiempo productivo.

7.3.5 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo como lo comenta Amendola (2002), estudia la evolución de los parámetros de operación y los asocia a la evolución de las fallas, para poder establecer en qué período de tiempo ese fallo será relevante, esto permite planificar las intervenciones con tiempo para que estas fallas no tengan graves consecuencias, las principales ventajas del mantenimiento predictivo son:

- Se reducen los tiempos de la duración de la falla, ya que se estaba preparado para su ocurrencia.
- Se tiene una evolución de fallas.
- Se optimiza el uso del recurso humano del departamento de mantenimiento.
- Permite tomar decisiones cuando ocurren las fallas, puesto que se tiene el detalle de los eventos ocurridos con anterioridad.
- Permite el análisis estadístico del sistema.

El concepto de Mantenimiento Predictivo es muy antiguo, aunque no era conocido como tal, los operarios de equipo utilizaban sus sentidos naturales para poder intuir una posible falla, con el tiempo estos métodos fueron incluidos en un método científico, para la detección de posibles fallas, algunos métodos naturales de monitoreo son, vista, olfato, oído y tacto, estos métodos naturales con la ayuda de la tecnología se transforman en técnicas de monitorio por medio de instrumentos de precisión (Tavares, 2000).

Según Amendola (2002), estas técnicas se pueden identificar en cuatro grandes grupos que son:

- Monitoreo Visual, con el fin de determinar la condición del equipo esta técnica se basa en realizar una inspección de forma visual al equipo, su principal ventaja es que no es necesario procesar ningún dato, ya que al momento de ejecutarla se determina la condición del equipo. Debido a su naturaleza no es necesario llevar ningún registro numérico, pero si se desea llevar un registro de las condiciones del equipo, se puede llevar mediante fotografías o videos.
- Monitoreo de Comportamiento Dinámico, se basa en la premisa que, al ocurrir una falla, se tiene una incidencia en el comportamiento dinámico del equipo, estas se pueden detectar por medio de análisis de vibraciones, ultrasonidos y también por medio del análisis del ruido en rangos audibles.
- Monitoreo del Desempeño, esta técnica se basa en determinar el desempeño del equipo, el inconveniente principal de esta técnica es que debe ocurrir algún daño significativo en el equipo para que se vea afectado su desempeño.

- Monitoreo de Lubricantes, se basa principalmente en analizar dos factores fundamentales, se centran en determinar la condición del fluido lubricante y a analizar las partículas o residuos que se encuentran en el lubricante.

Las principales herramientas que se utilizan en esta técnica son:

- Determinar su aspecto, factores determinantes en los lubricantes son su color y olor, ya que, si tiene un color oscuro, es necesario realizar un análisis adicional, y si se presenta un fuerte olor puede ser que se tenga un deterioro en los empaques.
- Contenido de agua, en la mayoría de los equipos no debe sobrepasar la presencia de agua en cien partes por millón en los lubricantes, de ser así será necesario identificar los puntos de condensación que principalmente puede ser la falla de un sello de vacío.
- Viscosidad, es el factor más importante por determinar en un lubricante, ya que se debe encontrar dentro de los rangos establecidos por el fabricante del equipo, un incremento en la viscosidad puede indicar puntos de calentamiento dentro de la maquinaria.
- Numero de base total, determina el nivel de alcalinidad en el lubricante.
- Oxidación
- Punto de inflamación

En conclusión, el mantenimiento predictivo se centra en determinar el estado del funcionamiento del equipo en todo momento, anticipándose así a la ocurrencia de las fallas, partiendo de la premisa que estas ocurrirán con una tendencia definida, aunque aun así pueden ocurrir fallos de forma repentina (Amendola, 2002).

7.3.6 Mantenimiento productivo total (tpm)

Es una técnica de administración de la producción, posibilita la garantía de producir productos con calidad, a menores costes y en el momento necesario. Promueve un trabajo donde siempre están unidos el Hombre, la Máquina y la Empresa, con los mismos objetivos, el mantenimiento productivo total, es un concepto nuevo cuando se involucra al personal productivo en el mantenimiento de plantas y equipos, la meta del TPM es incrementar notablemente la productividad y motivar a los trabajadores para crear en ellos, satisfacción por el trabajo que realizado (Cuatrecasas, 2015).

Para poder implementar el TPM se debe seguir una secuencia de trabajo muy específica para lograr resultados óptimos en el menor tiempo posible, existen muchas maneras de comenzar la implementación de un sistema TPM dependiendo de las características de cada planta en particular (Amendola, 2002).

Para poder implementar el sistema es necesario tener en cuenta que es necesario contar con la figura de un facilitador que garantice la confiabilidad en las operaciones, garantice un área limpia para poder realizar los diagnósticos de una forma adecuada, y mantener un estándar de limpieza adecuado, realice una inspección global y una supervisión adecuada y autónoma, aplicando los conceptos de las 5 S y que cree un plan de adiestramiento adecuado para el resto de colaboradores (Amendola, 2002).

El grupo de las "5 S", como lo comenta Amendola (2002), son cinco palabras que empiezan con la letra S en el idioma japonés, se enfocan en realizar un trabajo efectivo, organizando y creando un estándar para el lugar del trabajo, estas palabras son:

- “Seiri” (Poner en orden), separar cosas necesarias de aquellas innecesarias, definir los elementos que no son necesarios para tener en la operación y

llevarlos a un almacenamiento transitorio, conforme avanza el tiempo se identificará que elementos realmente no son necesarios y se podrán eliminar del almacén transitorio, este paso que se centra en la organización del puesto de trabajo, tiene como beneficio principal un área libre de elementos que no son necesarios para poder realizar las actividades cotidianas, estos elementos pueden ser: herramientas, flejes, materiales de empaque o exceso de materia prima.

- “Seiton” (todo en su lugar), se enfoca a tener un sistema eficiente para clasificar cada elemento, colocándolo en dónde corresponde. “Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar.”
- “Seisoo” (que brille), cuando eliminamos los elementos que son innecesarios a tener en el área de operación, el siguiente paso es realizar una limpieza profunda, cuando el área es vista de una forma ordenada y limpia por primera vez, se desarrolla en los colaboradores un orgullo por el nuevo aspecto de su área de trabajo, lo cual logra desarrollar un sentido de propiedad y como resultado adicional, al tener un área limpia y ordenada, posibles problemas que se tenían y se escondían entre el desorden y la suciedad, ahora son evidentes, ejemplo de estos posibles problemas son fugas de aceite, aire, refrigerantes, partes con excesiva vibración o temperatura, riesgos de contaminación, partes fatigadas, deformadas o rotas; estos problemas al no ser atendidos nos llevan a fallas de equipos y por ende un incremento en el costo del producto.
- “Seiketsu” (estandarizar), como siguiente paso es crear un nuevo estándar, el cual tiene que estar definido no solo por las jefaturas, sino que también se debe involucrar a todos los colaboradores que interactúan en las áreas de trabajo, no solo para incrementar el sentido de propiedad, sino también porque son fuentes de información muy valiosas, ya que son ellos los que se

encuentran en la primera fila del trabajo y además ellos serán los que tendrán que cumplir estas nuevas normas.

- “Sitsuke” (sostener), este será por mucho el paso más difícil de alcanzar puesto que la naturaleza humana es resistirse al cambio y son pocas las organizaciones que han logrado mantener los cambios obtenidos luego de la implementación de las “5S”, el sostenimiento consiste en cumplir los nuevos estándares propuestos en el área de trabajo, es por ello que es de vital importancia que todo el personal se vea involucrado en la definición de estos, ya que serán ellos los que deban cumplir estas nuevas normas.

Cuando se lo logra la implementación de las “5S”, el principal resultado esperado es elevar la moral, lo cual logrará un aumento de la eficiencia dentro de la organización al lograr una disminución en la generación de menores desperdicios y una mejor calidad de productos, un incremento en el tiempo productivo, al tener menor cantidad de tiempos muertos por paros no previstos, es decir logramos una mejor productividad.

7.3.7 Mantenimiento centrado en la confiabilidad

El mantenimiento centrado en la confiabilidad, como lo describe Amendola (2002) reconoce que el alcance máximo del mantenimiento es asegurar que los equipos continúen prestando su confiabilidad inherente de fabricación, es decir, este tipo de mantenimiento es un proceso que determina que se debe realizar para asegurar el desempeño esperado de un equipo, en su operación actual, y sus principales beneficios son:

- Mayor seguridad y protección del ambiente de trabajo.

- Mayor rendimiento operativo.
- Menores costos de mantenimiento.
- Mayor vida útil de los equipos.
- Mejora el trabajo en equipo.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad según Amendola (2002), es una guía que ayuda a identificar las actividades que se deben realizar, en otras palabras, es una metodología que permite identificar las políticas de mantenimiento que ayudan a garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos, lo cual demanda una revisión sistemática de los procesos, sus entradas y salidas, sus causas, consecuencias de los fallos funcionales y las tareas de mantenimiento óptimas; esta gestión de mantenimiento es necesaria porque:

- Responde a las debilidades derivadas de los enfoques tradicionales de mantenimiento.
- Permite asociar y sopesar los riesgos del negocio con la falla de los activos.
- Facilita de manera sistemática, la determinación del enfoque óptimo que se le deben dar a los recursos de la función mantenimiento.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

RESUMEN DE MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Proceso de producción de rollo galvanizado

2.2 Productividad

2.2.1 Elementos que impactan la productividad

2.2.2 Elementos para mejorar la productividad

2.2.3 Incidencia del mantenimiento en la productividad

2.3 Sistema de gestión de mantenimiento

2.3.1 Mantenimiento

2.3.2 Mantenimiento correctivo

2.3.3 Análisis causa raíz

2.3.4 Mantenimiento preventivo

2.3.5 Mantenimiento predictivo

2.3.6 Mantenimiento productivo total

2.3.7 Mantenimiento centrado en la confiabilidad

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
REFERENCIAS
ANEXOS

9. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se centra en la línea de investigación, metodologías de la producción, productividad total, analizando las principales causas de la disminución en la productividad que tiene una línea de Galvanizado Continuo.

9.1 Características del estudio

La metodología de investigación tiene enfoque cuantitativo porque se pretende evidenciar las principales causas que afectan la productividad en una línea productiva de proceso continuo, cuantificar las pérdidas económicas que se tienen al incurrir en la producción de material defectuoso.

El alcance es correlacional, dado que se pretende evidenciar que la ocurrencia de interrupciones en una línea de proceso continuo afecta directamente el costo unitario y por ende la productividad de la empresa.

El alcance también es descriptivo porque se pretende obtener información del comportamiento histórico de por lo menos un año, para poder observar las tendencias de forma gráfica.

El diseño adoptado será no experimental, pues los datos que se analizarán en su estado original sin ninguna manipulación, y solo se evidenciará el motivo de su ocurrencia.

9.2 Unidades de análisis

La población en estudio serán el costo unitario, la eficiencia y las interrupciones de la línea de producción continua, darán la duración de estas, y la causa de su origen, con su duración, se podrá determinar cuál es el costo de operación para el proceso, con lo cual podremos determinar la eficiencia y productividad del material galvanizado.

9.3 Variables

Para el presente estudio, se han considerado las siguientes variables, las cuales se describen en la tabla II

Tabla II. **Variables para tomar en consideración para resolución del problema propuesto**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Tiempo disponible	Tiempo disponible para el plan de programa completar la producción mes,	Tiempo que se tiene que cumplir con el producción del mes, cuantificado en horas.
Tiempo real de la producción mensual	Tiempo en el que se realiza la producción mensualmente en efectuar la	Tiempo en que se tarda la producción mensual, cuantificado en horas.
Paros no previstos	Interrupción de la operación, determinar las causas de su ocurrencia	Clasificación de las paradas no previstas, determinar causa raíz

Continuación tabla II.

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Tiempo de interrupción	Duración de las paradas no programadas de línea	Horas de paro de línea no programado.
Variable	Definición teórica	Definición operativa
Eficiencia	Material de gradado a chatarra o segunda calidad, no puede ser comercializado.	Generación de materia de chatarra o segunda, ser cuantificado en toneladas.
Costo unitario	Costo variable del proceso	Costos de operación en la línea, cuantificados en us\$ por tonelada producida.
Productividad	Afectación económica del proceso	Horas de paro de línea no programado.

Fuente: elaboración propia.

9.4 Fases del estudio

A continuación, se enlistan las fases que expondrán la metodología que seguirá la investigación:

- La primera fase se recolectan los datos de los tiempos de operación del proceso.

En esta fase se pretende obtener la información de, tiempo disponible, tiempo productivo, paros no previstos, para poder determinar la evolución de la productividad en función al tiempo requerido para la producción, así como identificar cuál es la frecuencia, duración y causa de las fallas que provocan un paro de línea en un intervalo de por lo menos un año.

- La segunda fase se recolectan los datos correspondientes a la generación de chatarra y material que no puede ser comercializado como primera calidad.

En esta fase se pretende obtener la información de la generación de desperdicio de Materia Prima, en este caso acero, al generar material de chatarra o material defectuoso.

- La tercera fase consiste en cuantificar económicamente el valor de los consumos de hidrocarburos que consume la línea, es decir el costo unitario del proceso.

En esta fase se cuantificará cual ha sido el costo unitario del proceso así como también el impacto económico por tener un paro de línea, la asignación del monto puede ser directa o indirectamente, dependiendo de los consumos que se estén evaluando, al terminar esta fase, se desarrollara un Pareto para determinar cuáles son las causas principales en las Interrupciones y que interrupciones generan un mayor costo de operación, y así será evidente el impacto en la productividad que tiene la línea al incurrir en interrupciones.

- En la cuarta fase, se realizará una comparación, realizando una modelación del comportamiento esperado del costo unitario del proceso y se comparará con el costo unitario real, para poder determinar cuál ha sido el impacto económico.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Las técnicas que se aplicarán en esta investigación son principalmente recopilación de registros de producción, planes de producción, interrupciones y paradas no programadas, que ocurren en la línea productiva de interés, así como cualquier otro dato que pudiera ser relevante para concluir esta investigación y cumplir con los objetivos propuestos.

10.1 Técnicas de análisis de información

Para poder analizar los datos que se recopilaran en los próximos meses, es necesario contar con las siguientes herramientas:

- Diagrama de barras: con este tipo de grafico podemos analizar cómo se encuentran clasificados los paros de línea, programados y no programados, para así poder identificar la causa raíz de estos.
- Diagrama de dispersión: con este tipo de grafico podemos comparar las tendencias de los paros programados, paros reales, tiempos de producción esperados, tiempos de producción reales, producción esperada y producción real, cada uno de ellos con una vista mensual, y por lo menos llegar a contar con un año de información, para que estos puedan ser relevantes.

10.2 Técnicas cualitativas

Para poder analizar los datos que se recopilaran en los próximos meses, es necesario contar con las siguientes herramientas:

- Investigación documental: se debe obtener información teórica que sirva como fuente de consulta y aplicación, para el desarrollo de los objetivos propuestos, por lo tanto, para este trabajo de investigación, se consultan fuentes

relacionadas con productividad, factores que impactan la productividad, análisis de costos y gestión del mantenimiento.

10.3 Técnicas de recopilación de datos

Para poder cumplir con los objetivos de este trabajo de investigación es necesario utilizar las siguientes herramientas:

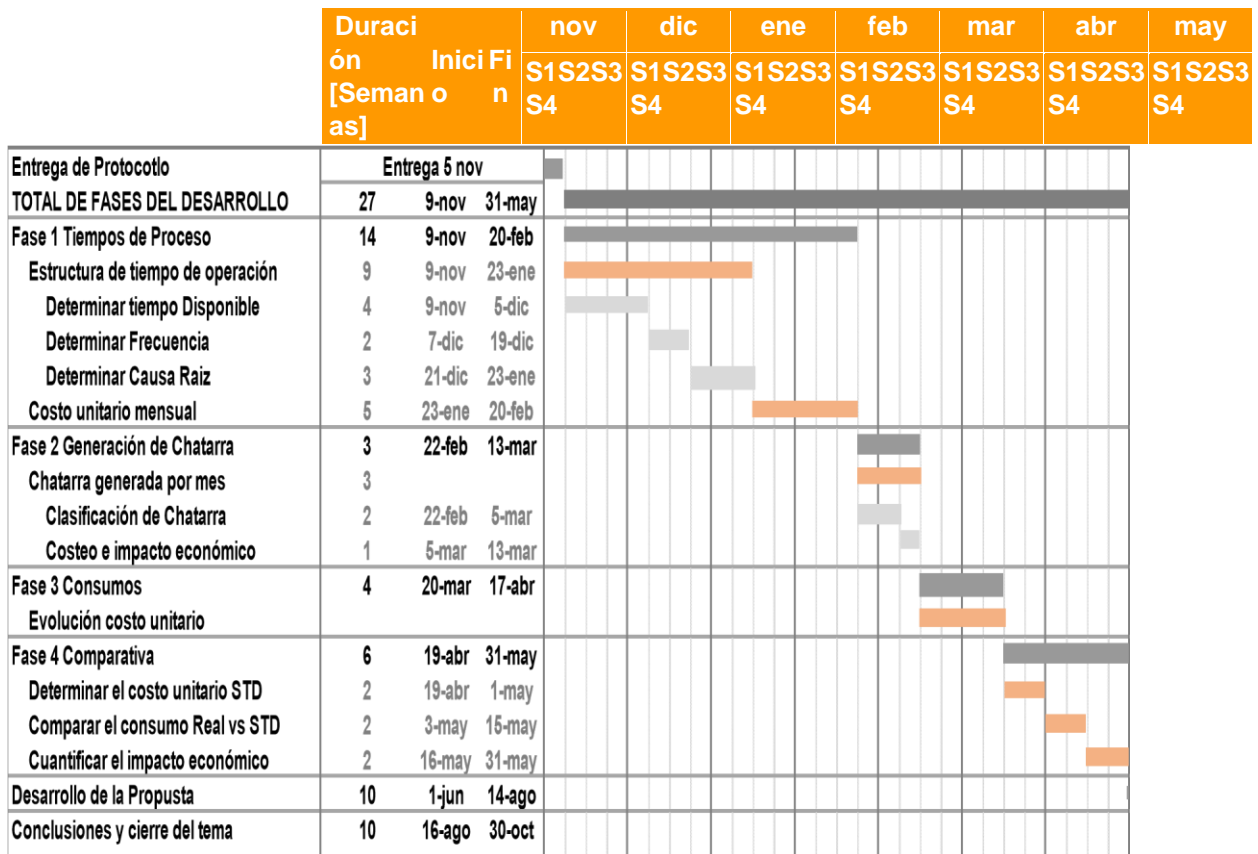
- Registros: recopilar datos históricos sobre los aspectos que se van a investigar o que contribuyan a alcanzar los objetivos trazados para este trabajo de investigación.

Se realizarán gráficos con datos históricos (real y esperado) que muestren tendencia en cuanto al tiempo requerido para la producción, costo unitario del proceso y paros no previstos en el proceso.

Este diseño de investigación es no experimental puesto que no se manipularán variables en algún laboratorio para obtener resultados que puedan ser utilizados en el desarrollo de la investigación; se pretende diseñar una propuesta que ayude a la gestión del departamento de operaciones o de mantenimiento, para que se cumplan con los planes de producción, minimizando el uso de recursos.

11. CRONOGRAMA

Figura 4 . Cronograma de las actividades a realizar, para lograr la resolución del problema planteado



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Esta investigación es factible, ya que se cuentan con los recursos necesarios para la elaboración de la investigación, porque se cuenta con la autorización de la empresa siderúrgica y se cuenta con el apoyo para poder tener acceso los recursos necesarios.

12.1 Recursos necesarios

Para poder realizar esta investigación es necesario contar con los siguientes recursos, y se gestionó con la empresa las autorizaciones correspondientes para poder contar con ellos:

- Humanos, contar con las horas hombre disponibles para poder contar con el tiempo requerido para completar esta investigación.
- Tecnológico, contar con acceso a internet para poder realizar la investigación.
- Informático, acceso a la información confidencial de la empresa, tomando en consideración la confidencialidad de los datos que serán manipulados en el transcurso de esta investigación.
- Infraestructura y equipo, acceso a equipo de cómputo y mobiliario necesario para realizar la investigación.

El recurso financiero es aportado por el investigador. A continuación, se detallan los gastos en los que se incurrirá para realizar esta investigación.

Tabla III **Presupuesto estimado para resolución del problema propuesto**

No	Tipo de recurso	Descripción	Costo	%
1	Humano	Tiempo de investigación	Q. 7.000.00	49 %
2	Humano	Asesor	Q. 2.500.00	18 %
3	Material	Papelería y útiles	Q. 1.500.00	11 %
4	Transporte	Combustible	Q. 1.200.00	8 %
5	Alimentación	Alimentación	Q. 800.00	6 %
6	Varios	Imprevistos	Q. 650.00	5 %
7	Internet	Internet	Q. 500.00	4 %
Total			Q.14.150.00	100 %

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Agudelo, L. F., y Escobar, J. (2007). *Gestión por procesos*. Medellín, Colombia: Incotec.
2. Akamphon, S., Sukkasi, S., y Boonyongmaneerat, Y. (enero, 2012). Reduction of zinc consumption with enhanced corrosion protection in hot-dip galvanized coatings: A process-based cost analysis. *Resources, Conservation and Recycling* volumen (58). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344911002023?via%3Dihub>
3. Aldana de Vega, L., Álvarez, M., Bernal, C. A., Díaz, M., González, C.E., Galindo, O. D., y Villegas, A. (2010). *Administración por calidad*. Bogotá, Colombia: Alfaomega Colombia S.A.
4. Amendola, L. (2002). *Modelos mixtos de confiabilidad*. España: PMM Institute for Learning.Consulting y Teaching. Universidad Polística de Valencia.
5. American Galvanizers Association. (2015). (Inf. Téc.). Hot-Dip Galvanized Steel v.s. Paint Life-Cycle Assessment Case Study - Balconies (Inf. Téc.). *American Galvanizers Association*. Recuperado de <https://galvanizeit.org/education-and-resources/publications/hdg-vspaint-in-life-cycle-assessment-case-study-1-balcony-structures>
6. Cuatrecasas, L. (2010). *TPM en un entorno Lean Managment*. Barcelona: PROFIT.
7. Dounce, E. (2014). *La Productividad en el Mantenimiento Industrial*. México: Grupo Editorial Patria.

8. Duran, J. (octubre, 2003). Nuevas tendencias en el mantenimiento en la industria eléctrica. (Vol. 1; Inf. Téc.). *IEEE Latin America Transactions*.
 Recuperado de
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1468615>
9. García, J. (2014). *Contabilidad de costos*. México: McGraw-Hill /INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
10. García, O. (2012). *Gestión moderna del mantenimiento industrial; Principios fundamentales*. Colombia: Ediciones de la U.
11. García, R. (2005). *Estudio del Trabajo*. México: Mc Graw Hill /INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
12. Grupo Reival C.A. (2014). Grupo Reivalca.
13. Hartmann, E. (2013). *Mantenimiento productivo total*. Mc Graw Hill /INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
14. Heizer, J., y Render, B. (2009). *Administración de operaciones*. México: Pearson Educación.
15. Krajewski, L. (2000). *Administración de operaciones: estrategia y análisis*. México: Pearson Education.
16. Kong, G., y White, R. (julio, 2010). Toward cleaner production of hot dip galvanizing industry in China. *Journal of Cleaner Production*. Volumen (18). Recuperado de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261000106X?via%3Dihub>

17. Melrose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). Hot-Dip Galvanizing for Sustainable Design (Vol. 1; Inf. Téc.). *American Galvanizers Association*. Recuperado de <https://galvanizeit.org/education-andresources/publications/download/hot-dip-galvanizing-for-sustainabledesign>
18. Montgomery, D.C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*, 6th John Wiley and Sons. New York, NY. Recuperado de <http://ie.sharif.edu/~qc/Introduction%20to%20statistical%20quality%20control,%206th%20edition.pdf>
19. Rubio Domínguez, P (2008). *Introducción a la gestión empresarial*. Madrid España: Instituto Europeo de Gestión Empresarial.
20. Suarez B., M. (2007). *El kaizen: La Filosofía de mejora continua e innovación incremental detrás de la administración por calidad total*. México: Panorama Editorial.
21. Sumanth, David J. (1999) *Administración de la productividad total*. México: Editorial continental, S.A
22. Tavares, L. (2000). *Administración moderna del mantenimiento*. Brasil: Novo Polo Publicaciones. Recuperado de https://www.academia.edu/27009245/Administraci%C3%B3n_Moder_na_de_Mantenimiento

23. Velasco, J. (2014). *Organización de la producción*. Madrid: Pirámide.
24. Zandin, K. (2005). *Manual del Ingeniero Industrial*. México: McGraw-Hill /INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de coherencia

Problema	Objetivos	Metodología	Resultados esperados
Pregunta general	Objetivo General	Tipo de investigación	Efectos esperados
¿Cómo se puede incrementar la productividad en una línea de galvanizado de proceso continuo?	Realizar una propuesta para aumentar la productividad en una línea de galvanizado de proceso continuo	Cuantitativo, estructura de tiempo y costo unitario	Realizar una propuesta que aumente la productividad en la línea de galvanizado.
Pregunta auxiliar 1	Objetivo específico 1	Tipo de investigación	Efectos esperados
¿Cuáles son las causas principales del decremento de productividad del proceso de la línea de galvanizado?	Determinar cuáles son las causas principales que impactan en la productividad de una línea de galvanizado de proceso continuo.	Cuantitativo, estructura de tiempo, gráficas de dispersión, análisis por Pareto e histograma.	Determinar cuáles son las causas principales que afecta la productividad y sus efectos.
Pregunta auxiliar 2	Objetivo específico 2	Tipo de investigación	Efectos esperados
¿Cuáles son las causas principales por las que se tiene interrupciones de línea?	Determinar cuáles son las causas principales por las que se tienen interrupciones de línea.	Cuantitativo, análisis por Pareto, histograma y análisis causa raíz.	Identificar la causa/raíz de las interrupciones de línea

Continuación apéndice 1.

Pregunta auxiliar 3	Objetivo específico 3	Tipo de investigación	Efectos esperados
¿Cuál es el impacto económico que se tiene en la línea de galvanizado, como consecuencia de las interrupciones de línea?	Calcular cual es el impacto económico y la eficiencia mensual que se tiene en la línea de Galvanizado, como consecuencia de las interrupciones en su proceso	Cuantitativo y costeo unitario	Determinar cuáles son los costos operativos al incurrir en interrupciones de línea.
Pregunta auxiliar 4	Objetivo específico 4	Tipo de investigación	Efectos esperados
¿Qué cambios operativos o de gestión son necesarios para incrementar la productividad?	Plantear cambios operativos o de gestión, según los resultados obtenidos, que ayuden a incrementar la productividad.	Descriptivo, propuesta de gestión basada en los resultados cuantitativos.	Proponer un plan que mejore la gestión en el proceso operativo o de mantenimiento, que tenga como resultado, el aumento de la productividad en línea

Fuente: elaboración propia.