



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

**INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE
FABRICACIÓN DE ALAMBRE GALVANIZADO CALIBRE NÚMERO 12
EN LA PLANTA DE TREFILACIÓN DE ACEROS DE GUATEMALA, S. A.**

Douglas Adolfo Rodas López

Asesorado por el Ing. Manuel Escobar Yela

Guatemala, marzo del 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE
FABRICACIÓN DE ALAMBRE GALVANIZADO CALIBRE NÚMERO 12
EN LA PLANTA DE TREFILACIÓN DE ACEROS DE GUATEMALA, S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DOUGLAS ADOLFO RODAS LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. MANUEL ESCOBAR YELA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MARZO DEL 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADORA	Inga. Maria Martha Wolford de Hernández
EXAMINADOR	Ing. Alberto Eulalio Hernández García
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:

INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE ALAMBRE GALVANIZADO CALIBRE NÚMERO 12 EN LA PLANTA DE TREFILACIÓN DE ACEROS DE GUATEMALA, S. A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 01 de noviembre del 2011.



Douglas Adolfo Rodas López

Guatemala 03 de febrero 2014

Ingeniero

Cesar Ernesto Urquizú Rodas

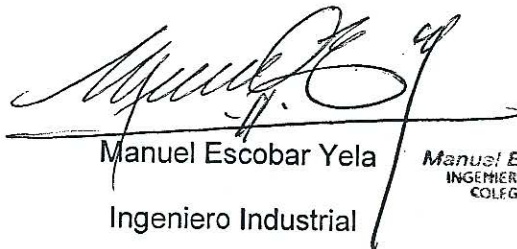
Director Escuela Mecánica Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero, por medio de la presente, le informo que he revisado y leído el contenido completo, del trabajo de graduación del estudiante **Douglas Adolfo Rodas López**, con carné 1993-12308; el cuál contiene el tema "**INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE ALAMBRE GALVANIZADO CALIBRE NÚMERO 12 EN LA PLANTA DE TREFILACIÓN DE ACEROS DE GUATEMALA S.A.**".

Atentamente,



Manuel Escobar Yela

Ingeniero Industrial

Colegiado No. 7931

Manuel Escobar Yela
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO 7931



REF.REV.EMI.001.014

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **INCREMENTACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE ALAMBRE GALVANIZADO CALIBRE NÚMERO 12 EN LA PLANTA DE TREFILACIÓN DE ACEROS DE GUATEMALA S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Douglas Adolfo Rodas López**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Nora Leonor Elizabeth García Tobar
Ingeniera Industrial
Colegiado No. 8121

Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, febrero de 2014.

/mgp



REF.DIR.EMI.034.014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE ALAMBRE GALVANIZADO CALIBRE NÚMERO 12 EN LA PLANTA DE TREFILACIÓN DE ACEROS DE GUATEMALA, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Douglas Adolfo Rodas López**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, marzo de 2014.

/mgp

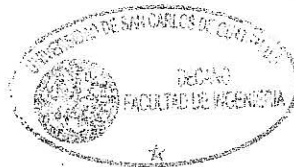


El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE ALAMBRE GALVANIZADO CALIBRE NÚMERO 12 EN LA PLANTA DE TREFILACIÓN DE ACEROS DE GUATEMALA, S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Douglas Adolfo Rodas López**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, marzo de 2014



ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Thelma Celeste López y Wilfredo Rodas, por haberme dado la vida y la educación necesaria para llegar a ser un hombre de bien, e inducirme siempre por el camino del saber del que no me apartaré hasta que Dios me retire de él.

Mis hijos

Pedro y Paola Alejandra, para que sigan en todo momento los consejos que les doy, y así puedan alcanzar y superar las metas que yo alcance, que en todo momento demuestren ser personas de bien.

Mi familia

Mi esposa Karen Zamora, mi hermano Wilfredo Samuel Rodas, tíos y primos, por haberme apoyado en todo momento, motivándome siempre a seguir adelante. Para poder alcanzar las metas propuestas y brindarles el mejor ejemplo a mis hijos.

Mis amigos

Por haberme apoyado en el transcurso de todos los años que pasamos en la facultad, amigos que siempre me brindaron su apoyo, me dieron su consejo para seguir siempre adelante y alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Fuerza necesaria para seguir adelante en mis actividades laborales y de estudio.
- Mis padres** Thelma Celeste López y Wilfredo Rodas, por haberme apoyado siempre, en todo momento, darme la educación, los valores y principios del camino del bien, impulsándome a seguir adelante alcanzando mis metas.
- Mi esposa** Karen Zamora, por siempre darme su apoyo moral e incondicional, para que pudiera seguir adelante con mis actividades universitarias.
- Mi familia** Mis hijos Pedro Andrés y Paola Alejandra, mi hermano Wilfredo Rodas por todo el apoyo, tíos primos y sobrinas, por haberme apoyado siempre que se los requerí, por tenerme la paciencia necesaria para realizar mis deberes.
- Corporación Aceros de Guatemala, S. A.** Empresa que me permitió realizar en sus instalaciones el presente estudio de tesis, entre otras actividades, a quienes les agradezco su apoyo brindado para poder culminar este logro.

A mi abuelo

Esta tesis está dedicada a la memoria de mi abuelo Pedro Rodas Figueroa, el obrero incansable, quien me dio un gran ejemplo acerca del valor de la vida y la lucha constante hasta el último instante de su existencia.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Información general	1
1.1.1. Ubicación	1
1.1.2. Historia.....	2
1.1.3. Misión	3
1.1.4. Visión.....	3
1.1.5. Valores.....	3
1.1.6. Organigrama.....	4
1.2. Productividad.....	5
1.2.1. Definición	5
1.2.2. Características	6
1.2.3. Tipos de productividad.....	8
1.2.3.1. Productividad parcial	9
1.2.3.2. Productividad de factor total	9
1.2.3.3. Productividad total	9
1.3. Trefilación	10
1.3.1. Definición	10
1.3.2. Características	11

1.4.	Alambre galvanizado.....	13
1.4.1.	Definición.....	13
1.4.2.	Aplicaciones	15
2.	SITUACIÓN ACTUAL	17
2.1.	Descripción del producto.....	17
2.2.	Materia prima	17
2.3.	Descripción del equipo	18
2.4.	Descripción del proceso	19
2.4.1.	Área de desenrollamiento y enhebrado de alambre trefilado.....	20
2.4.2.	Plancha de precalentado anterior al horno de recocido	21
2.4.3.	Horno de calentamiento de alambre trefilado	22
2.4.4.	Pila de enfriamiento de alambre trefilado previo al baño de ácido clorhídrico	24
2.4.5.	Tanque de ácido clorhídrico	25
2.4.6.	Pila de lavado de ácido	25
2.4.7.	Depósito de amonio.....	26
2.4.8.	Plancha de secado	26
2.4.9.	Horno y tanque de zinc.....	26
2.4.10.	Enrolladoras o embobinadoras de alambre galvanizado	28
2.5.	Factores que afectan la productividad.....	29
2.5.1.	Horno de recocido	29
2.5.2.	Tanque de ácido clorhídrico	30
2.5.3.	Enrolladoras	30

3.	PROPUESTA PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD	33
3.1.	Área de alambre trefilado	33
3.1.1.	Carga en proceso del horno de recocido	35
3.1.1.1.	Incremento de la carga	38
3.1.1.2.	Nivelación de la carga	39
3.1.1.3	Ajustes y supervisión	40
3.2.	Procedimientos operativos	42
3.2.1.	Posicionamiento de los hilos dentro del proceso	43
3.2.2.	Mejoramiento en la tensión de los hilos	45
3.2.3.	Seguimiento operativo al desenrollamiento de los hilos	46
3.3.	Mejoramiento en la vida útil del ácido clorhídrico	48
3.3.1.	Recirculación del ácido clorhídrico	51
3.3.2.	Sistema de transferencia semiautomático	55
3.4.	Cambio de variador de velocidad de mecánico a electrónico en las enrolladoras	56
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	59
4.1.	Prueba para incrementar la carga de procesamiento del horno de recocido	59
4.1.1.	Arranque del quemador sin utilizar en el sistema	60
4.1.2.	Rendimiento del horno en función de la nueva carga de la producción.....	61
4.2.	Arranque del sistema de recirculación del ácido clorhídrico	62
4.2.1.	Medición del aumento de tiempo de vida útil del ácido clorhídrico.....	63
4.3.	Pruebas del sistema nuevo de transferencia del ácido clorhídrico	64
4.3.1.	Bomba de recirculación	64

4.3.2.	Sistema de recirculación	66
4.4.	Control de procedimientos operativos propuestos	67
4.4.1.	Proceso más continuo	68
4.4.2.	Reducción de mermas.....	69
4.4.3.	Creación de una rutina en la operación.....	74
4.5.	Prueba para mejoramiento y estabilización del proceso con el motovariador electrónico	75
5.	SEGUIMIENTO O MEJORA	81
5.1.	Registro de aumento de la carga del horno	81
5.2.	Toneladas de alambre producida por turno.....	81
5.3.	Toneladas producida por galón de bunker consumido.....	83
5.4.	Mejoramiento de la continuidad del proceso	84
5.4.1.	Procedimiento de rutina operativa	84
5.5.	Reducciones en las interrupciones por cambio de ácido clorhídrico.....	85
5.5.1.	Continuidad y reducción de costos en el proceso	86
5.5.2.	Mejoramiento de la calidad del producto terminado .	87
5.6.	Aumento de la productividad del proceso debido al mejoramiento del sistema de velocidad de la enrolladora.....	88
5.7.	Optimización de los parámetros de velocidad	89
5.8.	Mejora en los arranques y paros de la línea	89
	CONCLUSIONES.....	91
	RECOMENDACIONES	93
	BIBLIOGRAFÍA.....	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación actual de la empresa	1
2.	Organigrama planta de trefilación Aceros de Guatemala, S. A.	4
3.	Concepto de proceso en los modelos de gestión de calidad	6
4.	Concepto de productividad basado en gestión por procesos.....	7
5.	Carretes de alambre trefilado al inicio del proceso	34
6.	Productividad actual	50
7.	Porcentaje de la productividad actual.....	50
8.	Productividad después de aplicar el método.....	54
9.	Porcentaje de la productividad después de aplicar el método	54
10.	Indicador de pérdida metálica antes del método.....	71
11.	Porcentaje de pérdida metálica antes del método	72
12.	Indicador de pérdida metálica y la contribución obtenida.....	73
13.	Porcentaje del indicador de pérdida metálica y la contribución obtenida	74
14.	Productividad aplicando el método	78
15.	Porcentaje de la productividad aplicando el método	79

TABLAS

I.	Medidas de los alambres trefilados.....	18
II.	Valores nominales de velocidad y cantidad de producto terminado...	36
III.	Medición de la cantidad de alambre galvanizado en 24 horas de producción.....	37

IV.	Comportamiento de la línea en el turno A, producción horaria en kilogramos	41
V.	Verificación de canastas de alambre trefilado o materia prima del proceso de alambre galvanizado	47
VI.	Productividad actual	49
VII.	Comportamiento del proceso con la recirculación del ácido clorhídrico	53
VIII.	Prueba de ensayo de decapado, tiempo medido en minutos	63
IX.	Prueba de ensayo de decapado partiendo de la implementación de la propuesta de la recirculación del ácido, el tiempo en minutos	65
X.	Aportes en valor porcentual del indicador de pérdida metálica.....	71
XI.	Variación del indicador de pérdida metálica y la contribución obtenida	73
XII.	Optimización de parámetros de velocidad del proceso de alambre galvanizado con el nuevo dispositivo electrónico	76
XIII.	Valor óptimo de la frecuencia en el proceso	77
XIV.	Cálculo de la productividad en función del incremento de producto terminado y el insumo de energía eléctrica	78
XV.	Formato que permitirá un mejor control de los kilogramos producidos durante el turno	82
XVI.	Beneficios del sistema de transferencia de ácido en el proceso.....	86

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
π	Constante pi 3,141516
ε	Esfuerzo
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
%	Porcentaje
“	Pulgadas
Q	Quetzales
T.m.	Tonelada métrica
&	Y

GLOSARIO

Ácido	Compuesto químico disuelto en agua reacción con metales activo formando una sal e hidrógeno.
Acritud	Aspereza en el recubrimiento.
Amonio	Sal con propiedades electroquímicas con efecto adherente, entre un metal y otro.
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
<i>Benchmarking</i>	Aplicación de las mejores prácticas para evaluación constante y comparativa.
<i>Bunker</i>	Derivado del petróleo con el menor grado de refinamiento.
BWG	Tabla de diámetros estandarizados.
Cincado	Es el recubrimiento de una pieza de metal en un baño de zinc para protegerlo de la oxidación.
Conmensurado	Medir con proporciones siempre iguales.
Demandómetro	Instrumento capaz de medir el consumo de energía eléctrica de un circuito de corriente alterna.

Grafito	Lubricante seco para deformación en frío con base en jabón sódico.
Hertz	Dimensional que representa un ciclo por cada segundo es la unidad de la frecuencia.
ICAITI	Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial.
Kilowatt-hora	Dimensional estandarizada para la facturación del consumo eléctrico domiciliario, comercial e industrial.
Motovariador	Dispositivo mecánico capaz de variar la velocidad al cambiar su relación de engranajes en un área llamada reductor.
Termocoplas	Transductor y sensor de temperatura de tipo industrial, utilizada en sistemas de autorregulación electrónica.
Zinc	Elemento de la naturaleza ubicado en la tabla periódica de los elementos como un metal de transición.

RESUMEN

La decisión de comercializar los productos de acero al carbono y acompañar la producción de clavo, hasta el momento es el único proceso que intenta desplazar la industria extranjera que cubría la demanda nacional. Este aspecto logra el desarrollo de la siderúrgica demostrando actualmente la posibilidad de ofrecer productos tan variados en su presentación desde todos los alambres, varilla corrugada de diferentes diámetros y grados, perfiles prefabricados y transformación del corte y doble en frío.

Se describe el proceso del alambre hasta llegar a ser alambre galvanizado con cada una de sus etapas secuenciales agregando valor de la transformación de la materia prima a producto terminado. Se explica de forma técnica la razón de pasar el alambre por el horno de recalentamiento, sumergir el alambre en el ácido clorhídrico, la inmersión del alambre en el tanque de amonio y su efecto adherente previo al cincado.

Aplicando el criterio del cambio en la razón de la productividad que relaciona el producto terminado con los insumos consumidos, se sugieren varias propuestas para el mejoramiento de la misma, al aumentar el producto terminado y mantener fijos los insumos. Se plantea la reducción significativa de las interrupciones ocasionadas por las rupturas, mejorando el procedimiento de rutina operacional capacitando y formando al personal para formar una cultura de operación preventiva.

Todo lo expuesto es una propuesta de mejora en la planta de galvanización de alambre, específicamente diseñado para el alambre calibre número 12. Sin embargo, puede ser base para estudios posteriores para los otros calibres que se producen en dicha planta, o puede aportar algún criterio válido para el proceso de inmersión de cualquier pieza.

OBJETIVOS

General

Demostrar como una herramienta de análisis, el concepto general de la productividad desde el punto de vista de ingeniería utilizando la razón de producto terminado sobre los insumos utilizados necesarios para dicha producción.

Específicos

1. Aplicar las buenas prácticas en el proceso de inmersión de alambre galvanizado, tomando como referencia el concepto básico de productividad resultante de la suma de dos factores eficacia más eficiencia, siendo la eficacia lo que busca optimizar los recursos y eficiencia el alcanzar los buenos resultados.
2. Lograr evidenciar las oportunidades de mejora en el proceso de inmersión de alambre galvanizado, buscando alcanzar los buenos resultados en cuanto a alcanzar un nivel de eficacia mejor que su mejor valor histórico y el actual.
3. Buscar que la inmersión de alambre galvanizado sea un proceso más controlado y estable, minimizando los factores que contribuyan a las interrupciones del mismo.

4. Evidenciar y sensibilizar a la gerencia sobre la necesidad de fomentar una cultura operacional basada en indicadores que comprendan la necesidad del involucramiento y acompañamiento necesarios en el proceso de mejora.

5. Lograr que con el presente análisis se sienta un precedente que permita el mejoramiento de las condiciones actuales, buscando la mejora continua que contribuya al sostenimiento en un mundo cada vez más cambiante y globalizado.

INTRODUCCIÓN

La producción de los derivados del acero es creciente, debido al incremento de la población a nivel mundial y a la exigencia primaria de satisfactores que garanticen un mejor y más equilibrado estilo de vida, como por ejemplo: alimentación, educación y una vivienda digna. En lo referente a la amplia variedad de productos para la construcción que debieran ser fabricados con alta calidad de acero al carbono para refuerzos de hormigón.

Las tendencias por la necesidad de desarrollo como los conceptos de círculos de calidad y la gestión por procesos, juegan un papel importante en la tendencia de la globalización que amenaza con atrapar a los países pequeños, tal es el caso de los países centroamericanos, esto debe lograrse no con medidas proteccionistas como subiendo aranceles o limitando las importaciones, sino elevando los índices de productividad de los artículos manufacturados. En el caso de productores que fabrican materiales para la industria de la construcción juega un papel preponderante el cumplimiento de los requerimientos y las especificaciones de las regulaciones y normas.

Lamentablemente, la industria siderúrgica evidencia muy poco interés en proporcionar al mercado, que a lo largo del tiempo ha estado cautivo, la calidad que responda a las necesidades de un consumo de bajo poder adquisitivo. Las exigencias dimensionales y de resistencia de los aceros son muy poco reguladas ya que el mercado es poco exigente en cuanto a la calidad requerida.

Hablar de calidad, en la actualidad, es relacionar a la productividad y la satisfacción a todas las partes involucradas. Por consiguiente productividad es desarrollo, calidad y crecimiento económico las cuales son las mejores armas para enfrentar la globalización, estos conceptos no están de acuerdo con las condiciones actuales de mercado, ya que se tiene una serie de presentaciones que lejos de ofrecer garantía al cumplimiento de las normas de aseguramiento a la calidad ofrecen una variedad de precios los cuales buscan que el usuario de bajo poder adquisitivo pueda comprarlos.

Es muy difícil establecer una clasificación precisa y completa para todos los tipos de acero existentes, más difícil aún, es establecer una equivalencia exacta entre los aceros de diferentes denominaciones ya que el ordenamiento de estos materiales en clasificaciones y normas difiere según el país de origen.

En el caso de los aceros al carbono comunes y aceros aleados, la elaboración de sistemas de clasificación es más dificultosa debido a que los tipos más comunes de aceros y las cantidades relativamente bajas de elementos que participan en la aleación y otras asociaciones técnicas, elaboraron sistemas de clasificación que atienden satisfactoriamente las necesidades de un mundo cambiante y en la búsqueda de nuevas tendencias tecnológicas. Del mismo modo, se establecieron los sistemas de clasificación para algunos tipos de aceros especiales como por ejemplo aceros para herramienta y equipos, aceros inoxidables, aceros resistentes al calor o como el del caso particular de los aceros para intemperie como los recubrimientos con zinc.

Todas estas clasificaciones especifican principalmente las composiciones químicas de los aceros, subdivididos en un sinnúmero de grupos e incluyendo decenas de análisis químicos, especificando principalmente las composiciones químicas de los aceros, subdivididos en un amplio grupo e incluyendo decenas de análisis químicos diferentes. En algún futuro próximo muy probablemente tengamos una nueva tecnología que proponga nuevas aleaciones del acero al carbono, mucho más resistentes y económicas que cumplan con las propiedades químicas y mecánicas requeridas.

1. ANTECEDENTES GENERALES

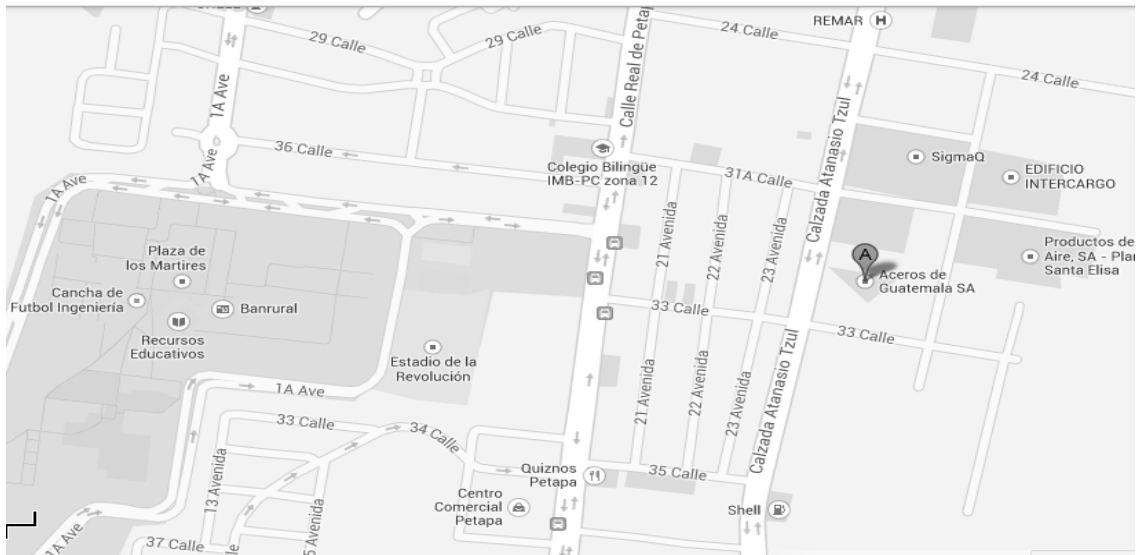
1.1. Información general

Aceros de Guatemala, S. A., es una industria siderúrgica dedicada a los distintos procesos de la transformación del acero al carbono.

1.1.1. Ubicación

La empresa Aceros de Guatemala, S. A., se encuentra ubicada en la 33 calle 24-65 zona 12 ciudad de Guatemala.

Figura 1. Ubicación actual de la empresa



Fuente: google maps.

1.1.2. Historia

En julio de 1953 surge Distribuidora Universal, en zona 1, donde se comercializaba materiales de construcción importado de México, para 1956 surge Distun, ubicada desde su inicio en la 20 calle 7-62 zona 1, ciudad de Guatemala. En 1963 nace Aceros de Guatemala, S. A., como empresa individual dedicándose a la fabricación de clavos con varias máquinas alemanas marca Wafios.

A principios de la década de los años 70, se realiza el montaje de una nueva laminadora de barras de las más modernas para la época, con tecnología electrónica, de marca Banning de Alemania, con una capacidad de 3 000 toneladas al mes. En 1974 Aceros de Guatemala, S. A., funda la empresa Hornos, S. A., con la instalación de dos hornos eléctricos de arco necesarios para fabricar los lingotes.

En 1991 inicia la construcción de SIDEGUA dentro de un terreno agrícola de 275 mil metros cuadrados ubicado en el kilómetro 65 carreteras a Masagua, Escuintla. En 1995 Aceros de Guatemala, S. A., adquiere INDETA fundada por la familia Seveira en 1960 para la fabricación de clavos y alambres.

En 1999 se inaugura DISTUN carretera al Salvador y en el 2008 se logra la ampliación de la planta de laminación de SIDEGUA, con una capacidad de producción de 350 mil toneladas al año. En el 2010 surge la corporación Centroamericana del Acero, la cual es una alianza estratégica con el Grupo Gerdau de Brasil con el fin de fortalecer su competitividad y ampliar su representación en el mercado de toda América.

1.1.3. Misión

“En corporación Aceros de Guatemala, fabricamos y distribuimos productos de acero con calidad certificada en un ambiente seguro, con un equipo humano especializado y motivado; comprometido con nuestros clientes, la sociedad y el cuidado del medio ambiente”.

1.1.4. Visión

“Mantener el liderazgo en Guatemala y el resto de Centro América, en la fabricación y distribución de productos de acero para la construcción y otros sectores; identificados y comprometidos con los altos estándares de la siderurgia a nivel internacional”

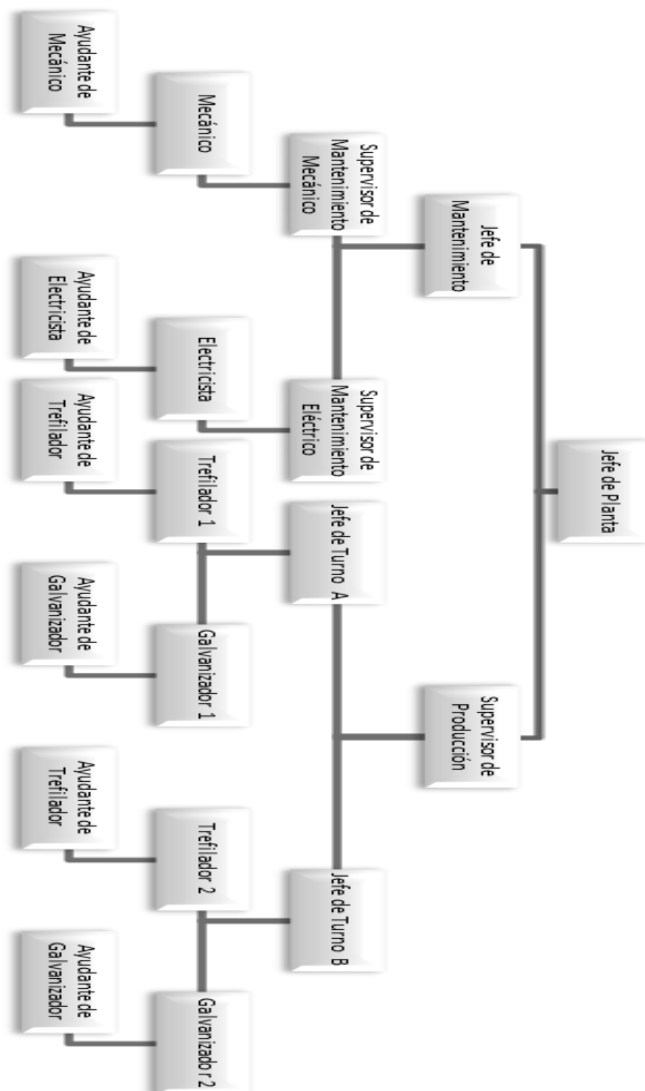
1.1.5. Valores

- Honestidad
- Rectitud
- Actitud responsable
- Calidad en todo lo que se hace
- Personas leales, comprometidas y realizadas
- Seguridad en el ambiente de trabajo
- Cliente satisfecho

1.1.6. Organigrama

Esquema organizacional de la planta de trefilación.

Figura 2. Organigrama planta de trefilación Aceros de Guatemala, S. A.



Fuente: planta de trefilación Aceros de Guatemala, S. A., zona 12.

1.2. Productividad

La productividad, se define normalmente como la relación entre lo obtenido por un sistema de producción o servicio y los recursos utilizados para obtenerlos.

También puede ser definida como la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos; cuanto menor sea el tiempo que lleve para obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema.

1.2.1. Definición

Entonces se puede definir que productividad, es el cociente que se obtiene de dividir la producción por uno de los factores de la misma producción, de esta forma es posible hablar de la productividad de capital, de mano de obra, de materia prima, etc.

En términos cuantitativos, la producción es la cantidad de productos que se producen, mientras que la productividad es la razón entre la cantidad producida y los insumos utilizados.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumos}} = \frac{\text{Resultados logrados}}{\text{Recursos empleados}}$$

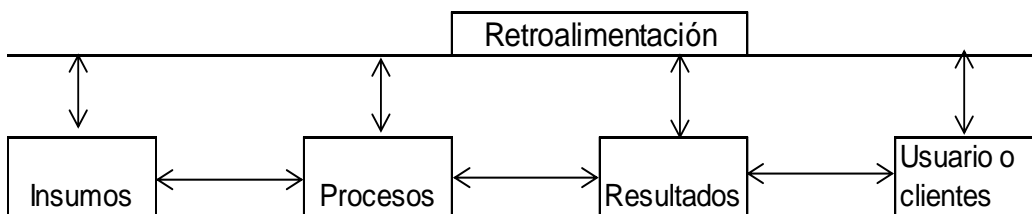
La productividad implica la mejora del proceso productivo, esta aumenta cuando:

- Existe una reducción de los insumos mientras las salidas permanecen constantes.
- Existe un incremento de las salidas, mientras los insumos permanecen constantes.
- Existe un incremento de las salidas y los insumos tienden a reducirse

1.2.2. Características

La característica de la productividad, se basa en el modelo de gestión de la calidad según el cual, el concepto de proceso es un conjunto de actividades mutuamente relacionadas interactuando y que transforman elementos de entrada en resultados a la salida que deben agregar valor, complementado con el concepto de cliente que es el componente fundamental del mismo, siendo la expresión de sus necesidades y expectativas las que definen las características de los productos y/o servicios y sus resultados. En el esquema mostrado a continuación utiliza el concepto descrito.

Figura 3. **Concepto de proceso en los modelos de gestión de calidad**

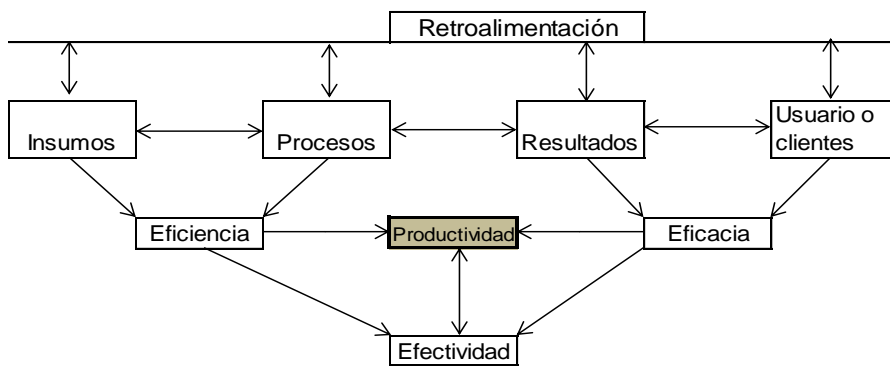


Fuente: RODRÍGUEZ, Carlos. Guía manejo de indicadores de gestión. p. 5.

La figura muestra insumos necesarios para realizar el proceso, el proceso como tal es el grupo de actividades mutuamente relacionadas y las salidas que son los resultados esperados por el usuario o cliente con calidad y cumplimiento de sus especificaciones, todo interrelacionado por medio de la retroalimentación que sirve como guía para la obtención de los resultados.

Para poder completar el esquema anterior, se analizaran otros conceptos los cuales buscan ayudar al lector a comprender mejor la productividad de los procesos, estableciendo sus características.

Figura 4. **Concepto de productividad basado en gestión por procesos**



Fuente: RODRÍGUEZ, Carlos. Guía manejo de indicadores de gestión. p. 5.

La figura muestra que la efectividad que aparece en la parte inferior del esquema, es la resultante de la eficacia y la eficiencia, siendo esta última situada entre los bloques del cliente y los resultados, pues es la relación existente entre lo que se generan para él y su grado de satisfacción que obtiene.

La eficacia se ubica entre los bloques de los insumos y los procesos, esta corresponde a la relación entre los recursos utilizados y su grado de aprovechamiento. Entre la eficiencia y la eficacia se ha colocado la productividad dado que corresponde a la relación entre los resultados obtenidos y los recursos empleados, es decir entre lo generado y lo utilizado o consumido. Un sistema de calidad se orienta a satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes, en las tendencias modernas esto debe de ampliarse y enfocarse de la siguiente manera, el cliente son todas las partes interesadas, siendo estos cinco:

- Los clientes
- Empleados
- Proveedores
- Accionistas y
- La comunidad

También se debe tener claro que los clientes pueden ser externos e internos.

1.2.3. Tipos de productividad

Para el establecimiento de un estudio más formal sobre lo que implica productividad se hará mención de ciertas formas de describirla, siendo estas: productividad parcial, productividad de factor total, productividad total, cada una de ellas con sus propias características y definiciones que ayudaran a formar un criterio más amplio de la misma.

1.2.3.1. Productividad parcial

Es la razón entre la cantidad producida y un solo tipo de insumo. Por ejemplo, la productividad del trabajo sería el cociente de la producción entre la mano de obra, esta sería una medida parcial de la productividad, ya que únicamente se está teniendo en cuenta el insumo humano.

De manera parecida, la productividad del capital sería el cociente entre la producción y el insumo capital de trabajo.

1.2.3.2. Productividad de factor total

Es la razón de la producción neta con la suma de todos los insumos que intervienen en su elaboración. Por producción neta se entiende producción total menos servicios y bienes intermedios comprados. El denominador de este cociente se compone solo de los factores de insumo de capital y trabajo.

Es aquella razón entre la producción total y la suma de todos los factores de insumos, definida como la medida de productividad total refleja el impacto conjunto de todos los insumos al fabricar los productos.

1.2.3.3. Productividad total

Debe evidenciarse que la producción en este caso, se refiere a todos los artículos producidos y que los insumos se refieren a todos los recursos que se consumen o gastan para fabricar esta producción, tanto los productos como los insumos se deben expresar en unidades monetarias de un período base o de referencia. En otras palabras, la producción y los insumos tangibles se tienen que expresar en términos de valor ya que no todos los elementos están en las

mismas unidades, por ejemplo, los insumos humanos y de energía se pueden expresar en horas–hombre o kilowatts–hora.

Además, si la empresa fabrica más de un producto, como este caso en particular el alambre galvanizado en toneladas o lingotes de determinada medida para laminar en unidades, no se podría operar las dos producciones ya que no se puede sumar unidades diferentes, pero si se lleva todo a quetzales si se podría operar con los valores correspondientes.

1.3. Trefilación

Es el proceso de conformación en frío, que consiste en reducir la sección de un alambre o varilla forzándolo a pasar a una alta velocidad a través de un orificio cónico de carburo de tungsteno una hilera o dado. Los materiales más comunes para la trefilación son: el acero, cobre, aluminio, pero puede aplicarse a cualquier metal o aleación dúctil. Básicamente consiste en el estirado del alambre en frío, por pasos sucesivos a través de hileras cuyo diámetro se presenta paulatinamente menor.

Esta disminución de sección da al material una acritud que beneficia sus características mecánicas.

1.3.1. Definición

La trefilación es un proceso de conformado en frío, este es el resultado de reducir el diámetro de un rollo de alambrón de 5,5 milímetros a las diferentes medidas impuestas en los requerimientos de los procesos subsiguientes. El alambrón es introducido en un dado cónico con la forma de embudo el cual es de tungsteno, material que soporta altos valores de fricción provocada por las

altas velocidades de producción. Este entra en un extremo con un diámetro más grande y luego sale por el otro extremo del dado, el cual se cierra un porcentaje logrando el efecto deseado que es la reducción del diámetro del material. Debe colocarse en la línea pasando primero por una descascarilladora (decapado mecánico), para desprender la capa de óxido producida cuando es fabricado en la laminación en caliente.

1.3.2. Características

El proceso de trefilado se lleva a cabo en la máquina denominada trefiladora, el diseño del equipo permite el recorrido del alambón a través de cada una de las etapas las cuales están determinadas por las distintas posiciones en que se encuentran los dados o embudos, con lo cual se va reduciendo el material hasta que se logra alcanzar el diámetro objetivo y la transformación de dicha materia prima en producto terminado al final del proceso.

En la primera etapa entra a la caja número 1, o porta dado 1, donde el alambón hace su primer contacto con el polvo para trefilar que está fabricado de jabón sólido y grafito de color gris. Este procedimiento previo es necesario para que no se rompa el alambón y evitar que se quiebre el dado por el efecto de las altas velocidades y la fricción. Luego pasa por el primer dado o embudo donde sufre la primera variación de diámetro. Sigue su recorrido al segundo dado donde previamente también es bañado con el polvo lubricador antes de pasar por el dado, aquí se logra la segunda reducción. En esta etapa se encuentra el tambor que realiza un enfriamiento con el medio ambiente. Luego pasa a la tercera hilera que está asociada a su respectivo tambor y su respectivo baño de polvo para trefilar o polvo lubricador.

Este procedimiento se hace en cada etapa establecida necesaria hasta alcanzar el diámetro objetivo, dichas etapas pueden ser de 4, 5, 7 hasta 10, con lo cual se pretende reducir el alambroón de un 35 % hasta un 75 % de su diámetro original, los procesos denominados subsiguientes son:

- Alambre de amarre
- Alambre galvanizado
- Alambre espigado para cerca
- Clavo corriente
- Clavo de lámina y
- Grapa para cercar

Actualmente la corporación tiene un proceso de alto consumo de alambre galvanizado que es la malla perimetral, conocido dentro de la planta con el nombre de malla ciclón. La máquina trefiladora tienen la capacidad para conformar alambroón de 5,5 y 6 milímetros en los grados SAE 1008 y 1006.

Según esta nomenclatura, las primeras dos cifras se refieren a que son aceros al carbono de tipo común, y las últimas dos el grado de carbón dentro de la composición del empaquetamiento molecular. Este dato es de particular importancia debido a que indica que tan dúctil son dichas materias primas para poder maquinárselas, por ejemplo el 1008 contiene más presencia de carbono y por lo tanto tiene más dureza, mientras que el 1006 es más dúctil. Esta característica es importante debido a que para la fabricación de clavo y grapa, se utiliza el 1008 por su dureza, y el 1006 se utiliza para en los otros procesos donde se necesitan mayor ductilidad.

1.4. Alambre galvanizado

Es el proceso electroquímico por el cual se recubre un metal con otro mediante su inmersión en un crisol de zinc fundido a 450 °C. La función principal del galvanizado es evitar la oxidación, corrosión de la humedad que la contaminación ambiental puede ocasionar sobre el hierro o acero.

El galvanizado más común consiste en depositar una capa de zinc sobre hierro, ya que el zinc es menos oxidable y más noble que el hierro generando un óxido estable al exponerse al oxígeno del aire. Este proceso se practica desde hace 150 años y es el procedimiento más fiable y económico de protección del metal contra la corrosión.

1.4.1. Definición

El hierro y el acero son dañados rápidamente cuando están expuestos a la acción de la atmósfera el efecto directo es la oxidación. Esencialmente es un óxido de hierro hidratado, que ataca la estructura del metal base, el cual puede llegar a destruirlo totalmente. Una forma de evitar el óxido es cubrir la superficie con una barrera impermeable con zinc, para evitar que la humedad o el aire lleguen al metal.

Actualmente existen dos métodos comerciales de aplicación de zinc al alambre de acero trefilado: galvanización por inmersión en caliente y el electro galvanización.

La galvanización en caliente es cuando se sumerge una pieza de hierro o de acero en un baño de zinc fundido, el recubrimiento se forma por reacción entre el zinc y el hierro.

El galvanizado de alambre se desarrolló en 1854, cuando se les otorgó una patente francesa a Boucher y Müller, sobre la galvanización de alambre de hierro y de acero, era un proceso casi idéntico al que se emplea hoy en alambre galvanizado por inmersión en caliente.

Es interesante notar que las especificaciones de la patente dan instrucciones para el desenrollamiento de varios alambres contenidos en carretes, pasando el alambre a través de una solución de doble cloruro de zinc y amoníaco, o ácido clorhídrico diluido en agua, y luego a través de planchas de calibre para remover cualquier exceso de zinc. Los alambres así cubiertos eran enfriados inmediatamente con un poco de agua fría para proporcionarle brillantez, luego los alambres eran secados y enrollados en los tambores. La única característica del proceso moderno de galvanización en caliente, que aparentemente no estuvo contemplada en ese entonces, fue la del recocido antes de la limpieza.

Sin embargo, no fue sino hasta 1860 con la patente de George Bedson de Inglaterra, donde se evidencia una mejora en el proceso, en el cual fue utilizada una operación continua de recocción, limpieza y galvanización.

Primero el alambre fue calentado en un horno tubular para que las hebras de alambre fuesen recocidas, luego subsecuentemente limpiadas en ácido muriático y pasadas por zinc.

El proceso de recocción y de galvanización fue introducido en los Estados Unidos alrededor de 1864 por Washburn, el fundador de Washburn & Moen Company, especialmente para la galvanización del alambre telegráfico, que en esa época estaba en gran demanda.

1.4.2. Aplicaciones

La galvanización tiene varias aplicaciones tales como:

Las capas protectoras para:

- Láminas para techos
- Chapas para forros de paredes
- Alambres y productos para exteriores
- Techos para automóviles
- Cubetas y latas de pintura
- Tanques para agua caliente
- Tubería y conductos
- Acero estructural expuesto
- Malla perimetral conductora de electricidad

Clavos

- Clavo ordinario
- Clavo para lámina
- Grapa para cerca
- Clavo tipo tachuela

Superficies expuestas al aire salado como:

- Partes metálicas de estructuras de barcos y submarinos
- Industria pesquera en general
- Estructuras de puentes grúa ubicada en los muelles
- Antenas para radiotransmisión de prolongación de ondas

Superficies en atmosferas industriales:

- Toberas
- Chimeneas
- Partes estructurales para hornos
- Transportadores y transferidores de productos
- Estructuras Joist
- Tornillería de anclaje

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Descripción del producto

El proceso de galvanizado de alambre por inmersión en caliente, cuenta con una serie de actividades y etapas para su producción. Es de mucha importancia describir toda la secuencia completa para entender la transformación de alambre trefilado que es la materia prima para el proceso del alambre galvanizado por inmersión en caliente como producto terminado, y con esto compartir cualquier aporte que pueda ayudar a mejorar la productividad dentro del proceso, a continuación se desarrolla una breve descripción de cada operación.

2.2. Materia prima

La materia prima para la elaboración de alambre galvanizado, es el alambre trefilado, el cual es fabricado mediante el principio de mecanizado en frío, por las máquinas trefiladoras, aquí se encuentran los dados cónicos de tungsteno, encargados de la transformación. Para poder procesarlo es colocado en unas estructuras denominadas portarrollos o carretes verticales, los cuales contienen hasta 120 kilogramos aproximadamente de materia prima como especificación del calibre de alambre en análisis. El sistema de producción de alambre galvanizado es por lotes, pues cada presentación implica parámetros de producción específicos por lo tanto todos los carretes de materia prima deben de tener el mismo diámetro o calibre.

Los calibres utilizados en el alambre galvanizado, según la Norma BWG para la producción de alambre galvanizado se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla I. **Medidas de los alambres trefilados**

Calibre	Diámetros en milímetros		
	Nominal	Mínimo	Máximo
16	1,65	1,60	1,70
15	1,82	1,75	1,85
14	2,10	2,08	2,15
13	2,38	2,34	2,45
12	2,76	2,70	2,82
10	3,40	3,38	3,48
9	3,75	3,70	3,90
8	4,19	4,15	4,25

Fuente: Departamento de Producción, Aceros de Guatemala S. A., 2011.

2.3. Descripción del equipo

Para realizar el proceso de galvanización es necesaria la operación de varios equipos los cuales están montados en un sistema de producción en línea, uno seguido del otro, descritos en el del desarrollo del contenido. Se tiene equipo estacionario y otro móvil, dependiendo de la aportación que estos tengan dentro del proceso así son los materiales con los que están contruidos.

El uso del ladrillo refractario para los hornos y las planchas de precalentamiento, fibra de vidrio y asbesto para el tanque de ácido, y hierro fundido en los carretes al inicio en la sección de entrada de materia prima y al final en la sección de embalaje. Este es operado con diferentes parámetros y velocidades dependiendo del calibre o diámetro del alambre, los mandos de los equipos como los controladores de temperatura del horno y los de variación de velocidad de las enrolladoras son del tipo electrónico analógico, así como de relevación industrial.

El equipo que actualmente está en operación fue montado en 1987 cuando fue el último traslado, pues la línea de producción de alambre galvanizado en la empresa inició su operación en 1960 en otro lugar de la planta, el cual a través del tiempo sufrió varias modificaciones hasta llegar a ser el proceso actual. El equipo es utilizado a un 65 % de la capacidad máxima instalada para el calibre de alambre en estudio pues este alambre se rompe si la velocidad de procesamiento es alta, por lo que es necesario tener en cuenta que entre más delgado es el calibre la velocidad de producción es más baja, y por el contrario, el equipo es más rápido cuando los diámetros son más gruesos.

2.4. Descripción del proceso

Debido a que es muy particular de la industria siderúrgica vale la pena mencionar la importancia, no solo describir cada parte del proceso si no también proponer las consecuencias de no contar con el aporte de estas actividades en la secuencia productiva, por lo que se procederá a describir cada una de ellas.

2.4.1. Área de desenrollamiento y enhebrado de alambre trefilado

El alambre por galvanizar procede del proceso previo de trefilado, por lo tanto ya viene en rollos o en los carretes respectivos. En la planta de galvanizado se dan dos casos, el primero es para alambres de grueso calibre o diámetros robustos, y otro para alambres de pequeño calibre o diámetros delgados. En el caso de grueso calibre los rollos de alambre son colocados en carretes pequeños relacionado con la altura y puesto sobre ejes, sobre los cuales giran.

Para el caso del alambre de calibre delgados, los carretes son más altos y son fijos, solamente se coloca una guía circular arriba del carrete, con aceite para reducir la fricción y que sea la demanda del proceso la encargada de ir desenrollando el alambre sin mover el carrete logrando la fluidez del proceso y su continuidad.

Está definida esta etapa del proceso como la entrada de la materia prima. Aquí es donde se colocan los portarrollos con alambre trefilado calibre número 12 en una base para que sea desenredado, entrando en un sistema de guías y poleas a las cuales tienen dos aplicaciones, la primera es direccionar el alambre de los portarrollos hacia cada una de las recámaras que tiene la plancha de precalentamiento, y la segunda es transferir la velocidad y la tensión a lo largo del hilo en proceso de forma uniforme y constante con lo que se busca contribuir a reducir la probabilidad de ruptura y la discontinuidad del hilo y por lo tanto del proceso, aquí cada hilo tiene su propio sistema de poleas y guías tensoras, para evitar enredo entre hilos y rupturas por fricción.

En esta sección se establece la continuidad del proceso pues aparece la sección de soldadura la cual se realiza por medio de un soldador por ionización. La etapa de soldado en el proceso ocurre en el caso de que el alambre de una de las líneas del proceso está por terminarse, entonces los operarios sacan el último pedazo de alambre y la punta final de este alambre es soldado con la punta inicial del nuevo rollo, el cual continuará con la misma línea en el proceso, el nuevo rollo es colocado en el mismo lugar que ocupaba el rollo anterior.

La forma de soldar es por medio de una soldadora eléctrica que junta las puntas y las funde, luego de eso la parte soldada es limada, de modo que no existan deformaciones en el alambre que provoque, que en determinado paso del proceso la línea se trabe y por consiguiente se rompa. La ventaja de este tipo de soldadura es que la resistencia a la tracción es igual o superior a la del mismo alambre.

2.4.2. Plancha de precalentamiento anterior al horno de recocido

Esta etapa del proceso inicia con una plancha de ladrillo refractario con varias ranuras o recamaras una por hilo, por donde es transportado el alambre trefilado que viene del área de desenrollamiento.

Lo que se busca aquí es aprovechar el excedente de calor que genera el horno de recocido, y transferirlo a la plancha, para que el alambre pueda expulsar cualquier humedad que traiga del proceso de trefilación o que haya sido adquirida en el medio ambiente, ya que esto puede afectar la temperatura dentro del horno. También eleva la temperatura ambiental hasta un aproximado de entre 70° a 80° dependiendo del calibre del alambre, esto se logra cuando cada hilo recorre el largo de la plancha dentro de cada recámara provocando

que el alambre no entre totalmente frío al horno lo cual tiene como efecto mantener constante la temperatura dentro de él; las dimensiones de la zona de precalentamiento son 1,9 x 2,10 x 0,10 metros, cada ranura tiene un ancho aproximado de 0,02 metros.

2.4.3. Horno de calentamiento de alambre trefilado

El objetivo del horno de calentamiento es hacer más dúctil el alambre y volver a acomodar el empaquetamiento molecular inicial, distorsionado en el barrido mecánico cuando en la planta de acería se fundió la palanquilla que da origen al alambrón que se convierte en alambre trefilado hasta llegar a ser alambre galvanizado, es la aplicación del concepto de trabajo en caliente sobre el metal. Para esto está dividido en dos fases, la primera está constituida por el precalentamiento del alambre procedimiento que ya fue descrito, y la otra el calentamiento propiamente dicho.

Vale la pena agregar que la fase de precalentamiento, consiste en pasar el alambre por una sección del horno por donde son sacados los gases de combustión, de los cuales se aprovecha el calor que llevan. Estos gases son sacados a través del horno de precalentamiento hacia la chimenea, por tiro forzado mediante dos ventiladores pequeños.

Luego de la fase de precalentamiento el alambre, continúa en el horno hasta llegar a la sección de calentamiento, aquí los alambres son sometidos a temperaturas de entre 800° a 900°, temperatura utilizada para el procesamiento del alambre calibre número 12, donde se efectúa el trabajo en caliente, el alambre sale del horno al rojo vivo y luego pasa al enfriamiento principal.

El horno de recocido está compuesto por dos recámaras que reciben los hilos de alambre trefilado de la zona de precalentamiento, con dos quemadores frontales que trabajan con *bunker*, y que mediante un sistema de actuadores combinan la electrónica y permite mantener la temperatura dentro de un rango de trabajo, lo que se conoce en el medio siderúrgico como temperatura a punto de trabajo de laminación, así se logra regular el paso de del combustible, y también del aire suministrado por los turboventiladores para que la flama tenga un equilibrio entre la zona carburante y la oxidante logrando el efecto deseado que es calentar el alambre y dejarlo en el punto óptimo de trabajo.

El horno también tiene un ventilador de recirculación de aire el cual distribuye de forma homogénea el calor a lo largo de todo el horno (climatiza el horno). Las dimensiones del horno son 1,9 x 3 x 8 metros, es de procedencia italiana, marca Pomini Farrel. Como se señaló al inicio, la función principal de recocer el alambre trefilado es lograr ductilidad, pero también se busca homogenizar el alambre, haciendo que las propiedades mecánicas de todos los hilos del proceso sean lo más parecidas unas con otras logrando que cumplan con los requisitos establecidos.

Para lograr que el *bunker* llegue a los quemadores es obligado a recorrer un circuito, el cual empieza en los tanques subterráneos a granel, y que con dos bombas es succionado, luego es diluido por medio de resistores introducidos en un tanque calefactor el cual logra mantener el abastecimiento constante del combustible y evita que dentro de las tuberías existan taponamientos por solidificaciones.

La parte del mando electrónico, ejerce el control de la temperatura, este está compuesto por dos termocoplas tipo “J”, las cuales también están clasificadas como transductores, y que censan la temperatura interna dentro del

horno, traduciendo esto a una señal eléctrica en milivoltios, con la cual se alimenta un módulo electrónico denominado controlador de temperatura, siendo este el que gobierna el estrangulamiento de las válvulas y por ende la cantidad de flujo de combustible que circula dentro de la tubería.

La operación de arranque del horno es importante y debe ser efectuada en forma suave lo que se denomina arranque en rampa o en gradiente, pues de no hacerlo puede fracturar los ladrillos refractarios. Debido a este proceso es catalogado como continuo por que se busca en la medida de lo posible no parar.

2.4.4. Pila de enfriamiento de alambre trefilado previo al baño de ácido clorhídrico

Esta recibe el alambre trefilado ya recocado, y en esta área es donde se le da un baño agua fría proveniente de la torre de enfriamiento, lo cual permite que en la siguiente etapa del proceso el alambre llegue frío, esto es necesario pues de lo contrario los hilos de alambre podrían salpicar ácido hacia los alrededores. El agua enfría el alambre por medio unos rociadores, en la pila existe en el fondo un sistema que permite captar el agua mediante una reposadera para que llegue nuevamente a la torre de enfriamiento.

Las dimensiones de la pila son de 1,9 x 3 x 0,1 metros, cuando el agua entra en contacto con el alambre caliente, se genera un vapor que al igual que el horno de recocado es llevado a la parte del circuito de emisión de gases al ambiente.

Vale la pena mencionar que la torre de enfriamiento, es un circuito de recirculación del agua utilizada en el proceso, utiliza el medio ambiente para enfriar el agua caliente que sale de las pilas de enfriamiento y la vuelve a introducir ya fría.

2.4.5. Tanque de ácido clorhídrico

El objeto principal del tratamiento con ácido, también llamado decapado, es brindarle una limpieza a la superficie del alambre contra los óxidos, lodos, aceites, etc. El ácido usado es el ácido clorhídrico a una concentración de aplicación de 5 % al 15 %. Las dimensiones físicas del tanque son de 2,10 x 3,5 x 0,3 metros, en la parte de arriba del tanque se tiene una campana extractora, que por medio de un ventilador con efecto de tiro forzado lleva el ácido hacia una torre o chimenea.

La campana está recubierta de fibra de vidrio y asbesto, para evitar la corrosión en el metal de construcción de la campana. A las orillas de la campana se tiene hules protectores los cuales permanecen abajo todo el tiempo.

2.4.6. Pila de lavado de ácido

El propósito principal del lavado primario, es quitarle el ácido que escurre en el alambre. El alambre con ácido es pasado por un sistema de agua parecido al sistema de enfriamiento primario descrito anteriormente. El agua es drenada y la alimentación proviene del sistema general de enfriamiento.

2.4.7. Depósito de amonio

Estructura de concreto de 1,9 x 1,5 x 2 metros, este volumen se llena con agua, y dos sacos de 40 kilogramos de polvo de cloruro de amonio. Dicha solución es evaluada en su concentración química en cada turno, por el departamento de control de calidad. La pila o depósito de amonio busca sumergir los hilos de alambre tensándolos hacia abajo por medio de un rodillo, con este químico se busca un efecto fundente o adherente, que forme una capa, que tenga el efecto de cada uno de los hilos de alambre sean recubiertos con uniformidad y la misma cantidad de zinc.

2.4.8. Plancha de secado

Esta es una estructura fabricada con ladrillo refractario, que cuenta con varias ranuras, cuyo objetivo es secar los hilos de alambre trefilado de la inmersión que se le dio en la etapa anterior del proceso con cloruro de amonio. Esto se realiza porque el alambre no debe de llegar mojado al recubrimiento de zinc (cincado), ya que puede salpicar alrededor del proceso el metal líquido, y ocasionar un mal recubrimiento, además las salpicaduras de zinc son un riesgo para el personal autorizado para estar dentro del área como operadores, auditores de calidad y supervisores. La plancha aprovecha el calor del horno de zinc, que es la siguiente etapa, esta lo hace del mismo modo que la plancha ubicada en la entrada al horno de recocido.

2.4.9. Horno y tanque de zinc

Es en este equipo donde se encuentra la etapa de inmersión en caliente el alambre trefilado pasa por zinc fundido, logrando agregar valor al proceso pues es aquí donde se transforma el producto. El horno trabaja con un

quemador alimentado también con *bunker*, el cual se encuentra dentro de una bóveda recubierta de material refractario sobre la superficie del zinc del lado opuesto del quemador entra aire a presión generado por un turboventilador, para lograr el precalentamiento descrito en la etapa anterior. Luego este pasa por un tubo a través de la bóveda hasta el quemador para lograr que la flama se encuentre en equilibrio entre la zona carburante y la zona oxidante, optimizando el gasto del *bunker* consumido por el horno. El tiempo de permanencia del alambre depende del calibre del alambre, la temperatura del alambre y del grado de galvanizado requerido.

Al final del proceso de galvanizado existen unos opresores hechos de hilos de asbesto, estos opresores obligan al alambre a escurrir el excedente de la inmersión evitando las rebabas de zinc que quedan en el alambre después del proceso.

Luego de remover el excedente, el alambre ya galvanizado es obligado a entrar a un sistema de enfriamiento por agua, el cual evita que el galvanizado se quemara en el alambre, dado que el zinc se seca en el alambre.

La temperatura promedio del horno es de 470°. El mantenimiento de este horno consiste en limpiar escoria en la superficie del zinc y en el fondo del horno, normalmente se hace cada fin de semana, y eventualmente entre semana.

2.4.10. Enrolladoras o embobinadoras de alambre galvanizado

Este es un equipo, basado en un mecanismo denominado sistema de transmisión diferencial de engranajes helicoidales cónicos, con una transmisión mecánica acoplada mediante un piñón que traslada el movimiento a un árbol de engranajes los cuales hacen girar los carretes de embalaje, un motor de corriente alterna origina todo el movimiento, es importante señalar que esta máquina tiene dos funciones, la primera es formar las bobinas alambre galvanizado, la segunda hilar el alambre trefilado desde el inicio a final del proceso, para el calibre de alambre número 12 se producen 24 hilos, máxima cantidad que puede producir en dicho proceso.

El proceso es descargado con producto terminado dos veces al día, con el objetivo de reducir la probabilidad que el alambre se enrede, y los rollos pierdan la simetría, necesaria luego en los procesos subsiguientes, el alambre galvanizado calibre 12 provee a bodega de producto terminado con producto para la venta, y a bodega de proceso para el proceso de alambre espigado y malla ciclón.

Esta máquina controla la velocidad del alambre en el proceso, normalmente medida con tacómetro o medidor de revoluciones por hora, en los carretes de enrollado esta es uno de los factores de los cuales depende un buen galvanizado, otros parámetros son la calidad del zinc, la temperatura del alambre, el calibre, el ácido clorhídrico, el amonio, etc.

2.5. Factores que afectan la productividad

Estos tienen que ser estudiados y tomados en cuenta ya que afectan en cuanto a las propiedades químicas y mecánicas del acero, es importante entender que el auditor de calidad es el principal responsable de que en los procesos subsiguientes no existan problemas, ya que por ejemplo las máquinas de malla perimetral necesitan que sea dúctil, de lo contrario el proceso se ve interrumpido constantemente debido a esto se tomarán en cuenta el horno de recocido, el tanque de ácido clorhídrico y las enrolladoras.

2.5.1. Horno de recocido

Esta etapa del proceso de galvanización presenta un factor que afecta la productividad, en la actualidad tiene un componente sin utilizar. En el diseño original del horno existen dos quemadores frontales, de los cuales solo se aprovecha uno, esto es debido a que en sus inicios no se tenía la demanda actual, por lo que en algún momento se decidió que se utilizaría un solo quemador, pues este lograba recocer la cantidad de alambre demandado, y la velocidad impuesta lograba alcanzar la meta, los lotes de producción cumplían con los requerimientos, además se percibió como un ahorro en el insumo galones de bunker.

Este escenario cambia cuando se pone en marcha el proceso subsiguiente, que es la fabricación de alambre espigado, ya que la materia prima para este es el alambre en estudio es decir el alambre galvanizado calibre número 12, debido a esto surge la necesidad de aumentar la productividad de la línea de alambre galvanizado, obligando a plantear la hipótesis de utilizar el otro quemador que durante años fue deshabilitado.

2.5.2. Tanque de ácido clorhídrico

Este es una parte del equipo que provoca que el proceso se detenga dentro del periodo de producción, debido a baja concentración de ácido que ocasiona un mal recubrimiento de zinc por una limpieza inadecuada, por lo general esto sucede 4 días luego de haber arrancado con alambre trefilado calibre 12, logrado alcanzar un intervalo de producción que va de las 57 a 60 toneladas de las 106 requeridas para la línea de galvanización programada para la producción semanal, para corregir el problema y mantener constante la concentración actualmente se añaden 2 toneles de ácido, para lograr alcanzar un adecuado decapado químico, que es el efecto deseado en esta etapa.

Es importante señalar que por razones de seguridad industrial, el proceso se detiene hasta una hora para poder vaciar el nuevo ácido y que este no salpique a los operadores, pues resulta una operación peligrosa. El horno no se apaga para poder efectuar dicha operación, solo se le baja temperatura, esto busca no fracturar el ladrillo refractario debido a variaciones en la temperatura y también para no consumir bunker en otro arranque total del horno.

2.5.3. Enrolladoras

Este equipo al igual que todos los descritos anteriormente, es de mucha importancia, ya que proporciona el ritmo de producción de todo el proceso, impone la velocidad que es un parámetro de producción de acuerdo al diámetro del alambre en proceso.

Actualmente para lograr dicho efecto se cuenta con un variador mecánico que, únicamente con dos velocidades, ofrece un limitado efecto de cambio de velocidad en el enrollado, y por lo tanto jala de forma muy abrupta y brusca los hilos de alambre calibre número 12, provocando tirones a los hilos que ocasionan rupturas constantes, obteniendo discontinuidades en el proceso y mermas.

La propuesta de mejora, es cambiar a un sistema más moderno de tipo electrónico, un “motovariador de frecuencia”, ocasionando una variación de velocidad más fina, este tipo de sistemas son de uso común en la industria. Lo que se busca es que dentro del proceso existan velocidades más reales, que permitan que el alambre no se rompa tan fácilmente, debido a cambios de velocidad más finos.

3. PROPUESTA PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD

3.1. Área de alambre trefilado

El proceso previo que se lleva a cabo para la manufactura de alambre galvanizado, se llama trefilado o conformado en frío cuyo propósito básico es incrementar su dureza y resistencia. La deformación en el alambre trefilado es causada por una combinación de esfuerzos (ϵ), de compresión y corte, los de compresión se deben naturalmente a la acción compresiva aplicada por los cilindros de laminación y los de corte a la fricción entre los dados de tungsteno. La reducción del área en el diámetro del alambrón o materia prima de 5,5 milímetros al diámetro propuesto para el calibre 12, busca crear un reacomodo en la estructura del empaquetamiento molecular de la cristalografía del acero el cual fue alterado cuando se lamino originalmente en caliente de una palanquilla.

Para ello se hace pasar el alambrón a través de un dado fabricado usualmente de carburo de tungsteno, a esta etapa del proceso se le denomina paso de reducción, después de obtener el rollo de alambre trefilado este es montado en una base giratoria.

Figura 5. **Carretes de alambre trefilado al inicio del proceso**



Fuente: fotografía planta de trefilación zona 12.

Dicha estructura permite suministrar la materia prima al proceso, la simetría del embobinado en los carretes o rollos de alambre es importante debido a que no presentarla ocasiona enredos y rupturas en los hilos de alambre en proceso evitando la continuidad del mismo.

Para el proceso de calibre número 12, se usan 18 hilos que son tirados por la máquinas al final del proceso llamadas embobinadoras con igual número de alambre galvanizado ya como producto terminado.

Cuando se colocan por primera vez los hilos, se desarrolla una actividad que se denomina enhebrar, esta consiste en pasar todos los hilos a lo largo de todo el equipo, que forma el proceso hasta llegar a las embobinadoras, encargadas de imponer la cantidad de producto terminado con una velocidad como parámetro de trabajo. En el área de alambre trefilado se encuentra un sistema de poleas que son las encargadas de direccionar el alambre trefilado hacia las recámaras del horno. Estas estructuras portarrollos se denominan

canastas que contienen entre 70 y 80 kilogramos de alambre trefilado, la estructura debe girar libremente 360° alrededor de su eje buscando la continuidad del proceso y evitando el atasco del alambre, que provoque rupturas de los hilos.

3.1.1. Carga en el proceso del horno de recocido

Cuando el acero es vaciado en lingotes en una planta de acería, realizado mediante el proceso de alto horno, ocurre el denominado deslizamiento mecánico, el cual debe ser corregido con un proceso de recocido, de manera que proporcione un tamaño de grano con las propiedades óptimas combinadas de resistencia y ductilidad. Se mencionó anteriormente que para la producción de alambre galvanizado calibre 12 hay que tomar en cuenta el proceso anterior denominado trefilado que se basa en el concepto del laminado en frío, considerado como una especie de proceso primario de deformación, se aplica solamente a metales de aleación muy maleable; sin embargo con frecuencia se utiliza para obtener dureza y resistencia, o un buen acabado de la superficie en una aleación previamente formada por el laminado en caliente. Durante el laminado en frío, los cristales se distorsionan a la forma original de vaciado antes de ocurrir el deslizamiento mecánico.

En la búsqueda de este efecto, las normas ICAITI y ASTM, hacen referencia específica a la resistencia, tensión, límite de fluencia, alargamiento, recubrimiento y prueba de doblado, proporcionando las tablas respectivas para los diferentes parámetros.

El valor nominal propuesto por el fabricante del horno de recocido, basado en el manual de operación es de 350 kilogramos por hora pasando 18 hilos de alambre con un diámetro comprendido entre 1,51 a 1,80 milímetros de diámetro ya recubierto de zinc y un espesor promedio equivalente aproximado de 32 micrómetros.

Tabla II. **Valores nominales de velocidad y cantidad de producto terminado**

Calibre de alambre B.W.G.	Velocidad metros X minuto	Producción alambre T .m. X semana.
16	16	40,20
15	15	40,30
14	14	40,40
13	13	40,45
12	12	40,50
10	11	40,60
9	10	40,70
8	9	40,80

Fuente: Departamento de Producción. Aceros de Guatemala, S. A. 2011.

Las propiedades mencionadas de resistencia y ductilidad son alteradas debido a que puede ser sobrepasados los niveles de acomodación de la cristalografía metalúrgica, ocasionando un producto terminado dúctil que provocará un valor de elongación dañino y perjudicial en el requerimiento de la norma y, por el contrario, si se tiene una carga inferior entonces se tendrá un alambre galvanizado demasiado duro el cual presentará poca maleabilidad produciendo una elongación limitada con el efecto contraproducente de una

reducción del área o estricción provocando que este sea quebradizo, bajo el principio que todo lo que es demasiado duro tiende hacia la fractura. Este parámetro es de importancia en la producción de alambre galvanizado calibre 12, y busca que los 18 hilos de alambre trefilado alimenten al horno con los 350 kilogramos por hora para estar dentro de los parámetros de producción.

En la actualidad debido a múltiples variantes dentro del proceso, como una deficiencia en la regulación de la velocidad en revoluciones por minuto, interrupciones constantes en el proceso debido a rupturas del alambre se obtuvieron los siguientes valores medidos en la práctica.

Tabla III. Medición de la cantidad de alambre galvanizado en 24 horas de producción

Turno A	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
07:00-08:00	300	299	292	299	307	317
08:00-09:00	325	305	299	298	299	315
11:00-12:00	315	302	315	299	298	309
12:00-13:00	300	303	317	300	307	329
13:00-14:00	305	307	329	290	303	317
15:00-16:00	298	298	309	297	302	315
17:00-18:00	290	299	315	298	306	299
18:00-19:00	295	307	317	315	299	298

Continuación de la tabla III.

Turno B	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
19:00-20:00	299	298	315	309	399	310
20:00-21:00	303	299	318	310	307	299
23:00-00:00	303	303	319	312	306	303
00:00-01:00	304	315	297	309	307	310
01:00-02:00	295	307	298	310	300	309
04:00-05:00	296	308	299	303	329	308
05:00-06:00	297	309	303	313	303	298
06:00-07:00	300	310	307	315	298	297

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, los datos fueron obtenidos durante una semana de producción de alambre galvanizado calibre 12 para los dos turnos de producción de 12 horas, reflejando que existe una actividad dentro del proceso que se denomina embalaje y que consiste en tirar al suelo la bobina formada con producto terminado, pesarla y luego empacarla. Esto se hace para los 18 hilos, lo cual toma alrededor de 2 horas, hasta poder sacar las tarimas con producto terminado del área. Durante todo este procedimiento el grupo de operadores no pueden llevar a cabo ninguna otra actividad, incluyendo el registro, pues lo que se busca es evitar discontinuidades en los 18 hilos. Este procedimiento se realiza dos veces por turno.

3.1.1.1. Incremento de carga

Para el incremento de la carga en el horno de calentamiento y por consiguiente en el proceso, se propondrán dos objetivos. El primero toma en cuenta el incremento de la velocidad en el proceso por medio del motovariador

eléctrico de las embobinadoras, y el segundo toma en cuenta los sistemas de calefacción ya que se dejó de utilizar un quemador, debido a que no existía la necesidad de galvanizar la cantidad de alambre actual. Los procesos subsiguientes demandan más y más producto, estos son alambre espigado, malla perimetral ó ciclón y las secciones de clavo para lámina y madera. El proceso de galvanización busca la satisfacción de dos tipos de clientes, siguiendo los modelos de gestión, el interno procesos subsiguientes como la secciones ya mencionadas, y el externo siendo en su mayoría las fábricas que elaboran cérchas para exportación.

En sus inicios, el área de alambre galvanizado con una carga menor a los 200 kilogramos por hora podía abastecer la demanda y en su momento se pudo tomar la decisión de parar un quemador pues, con una carga tan reducida, no era necesario un incremento en la producción y con el ritmo de la producción que se contaba se cumplía con las metas establecidas, así también con la calidad de recubrimiento esperada. Ahora es necesario encender el quemador apagado durante años para incrementar la carga y compensar esto con más alambre por hora. Las dos recámaras recibirán una flama de recalentamiento sin requerir un incremento en la temperatura del horno, solo una mejor distribución de calor sobre los 18 hilos, con esto se está tratando de optimizar el insumo de galones de diesel por hora.

3.1.1.2. Nivelación de la carga

Para poder nivelar la carga, se parte del análisis de un turno de producción en planta. Por ejemplo, si la sección de alambre espigado tiene un consumo de 150 a 160 kilogramos por hora de producción, lo que equivale a un 48 % de la producción, la sección de clavo tiene un consumo de 140 a 150 kilogramos por hora, lo que equivale al 43 % de la producción por hora.

Esto absorbe un total del 91 % de la producción, por lo que el restante 9 % equivalente a 31 kilogramos por hora.

Este es un valor aceptable de producción de alambre galvanizado como tal para la venta, con lo que se alcanza una nivelación de la carga de trabajo en función de los procesos subsiguientes y la propia presentación de alambre galvanizado calibre número 12. Toda esta medición se hace tomando en cuenta que se cumplan con los requerimientos de calidad, y también a la par de justificar y comprobar que el valor de 350 kilogramos por hora es un valor aceptable y que no necesita un valor más elevado de producción para no sobredimensionarla. Tampoco se debe crear el desperdicio de *stock*, pues el almacenamiento del producto es delicado porque se puede golpear o estropear y con esto causar pérdidas. Fomentar también el desperdicio identificado como superproducción.

También vale la pena mencionar que la producción del proceso de trefilación es de aproximadamente 356 kilogramos por hora, por lo que tenemos casi la totalidad de absorción de la producción en galvanización, necesitaríamos un leve incremento en la producción, alrededor del 1,7 %, para poder absorber los 6 kilogramos adicionales y así alcanzar el balance en las líneas de producción. Todos estos datos, como ya se mencionó, son en un turno normal de producción, cuando no se tienen paros programados o interrupciones en planta.

3.1.1.3. Ajustes y supervisión

Como se ha mencionado la propuesta para el incremento en la carga del horno de recocido es aumentar la cantidad de producto o alambre trefilado aun sin galvanizar por hora. Esto manteniendo la misma temperatura y por

consiguiente la misma cantidad de consumo de *bunker*. Aquí surge un tema muy importante que es el ajuste y la supervisión de la temperatura. Como ya se explicó, el proceso de alambre galvanizado tiene procesos previos de laminación en caliente y laminado en frío lo cual afecta la cristalografía metalúrgica, el alambre galvanizado tiene que cumplir con requerimientos de resistencia, tensión, límite de fluencia, alargamiento y recubrimiento.

El ajuste requerido se llevará a cabo en cuanto al nivel de recubrimiento de zinc, otro propósito de pasar alambre por el horno es limpiar y desprender del alambre el polvo lubricante utilizado en el proceso de trefilación. Este es utilizado para reducir el efecto de fricción en los dados de tungsteno, al no darle una limpieza al alambre se forma un recubrimiento de zinc de mala calidad.

Tabla IV. **Comportamiento de la línea en el turno A, producción horaria en kilogramos**

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
07:00-08:00	347	347	350	349	350	350
08:00-09:00	348	349	350	350	350	350
09:00-10:00	344	349	350	350	350	350
11:00-12:00	350	350	350	350	350	350
12:00-13:00	348	350	350	348	350	350
13:00-14:00	350	350	349	349	350	350
15:00-16:00	350	350	349	349	350	350
16:00-17:00	350	350	350	348	350	350
17:00-18:00	349	350	349	350	350	350
18:00-19:00	348	349	350	350	350	350

Fuente: elaboración propia.

Básicamente pasar el alambre trefilado por el inicio del proceso de galvanización tiene dos objetivos, el primero es un reacomodo de los cristales en su estructura que permita que este tenga maleabilidad y el segundo es derretir el efecto grasoso provocado por el polvo grafitado de la trefilación que no permite un nivel aceptable de recubrimiento.

Los valores obtenidos en la tabla pueden variar debido a las constantes rupturas en el proceso, esto hace que el producto terminado varíe de una hora a otra, es de forma aleatoria pues existen horas en los cuales se alcanza una estabilidad en el proceso, la supervisión del producto terminado es importante debido a que al romperse un hilo los restantes 17 que quedan en las recámaras se sobrecalientan provocando que a lo largo del proceso existan salpicaduras.

En el tanque del zinc, posteriormente estos se convierten en brumos en los alambres vecinos de proceso que el auditor de calidad retiene y lo cataloga como alambre de segunda o tercera. La ruptura del alambre provoca un incremento en la merma en kilogramo de chatarra por kilogramo de producto terminado, lo cual es un indicador dentro del proceso, pero sus efectos son negativos desde el punto de vista de calidad.

3.2. Procedimientos operativos

Este es un tema que presenta una serie de problemas que vale la pena analizar desde el punto de vista de impacto en el nivel productivo del proceso.

Por ejemplo, cuando se rompe un hilo la carga en el horno cambia de una cantidad ya establecida de 350 kilogramos a variaciones mostradas en la tabla IV, debido a que para poder restablecer el hilo dentro del proceso lleva un

tiempo aproximado de entre 18 a 23 minutos dependiendo de la habilidad operativa.

La interrupción descrita provoca una reducción de producto terminado, debido a que restablecer el hilo en el proceso conlleva una serie de actividades que consumen tiempo e interrumpen la rutina operativa, la cual consiste en verificación de la simetría de las bobinas de materia prima o alambre trefilado, lecturas de parámetros de producción, acompañamiento a las pruebas de calidad con el auditor de calidad, cumplir con la hora de embalaje, el orden y limpieza necesaria en planta tanto en materia prima, insumos y producto terminado. En lo referente al control de calidad de los restantes hilos de proceso pues debido a la falta de carga dentro del horno los restantes hilos tienen una mala calidad en el recubrimiento. Para evitar estos problemas se proponen los siguientes puntos.

3.2.1. Posicionamiento de los hilos dentro del proceso

Este proceso tiene el efecto de hallar el alambre trefilado haciéndolo pasar por las diferentes etapas hasta convertirlo en alambre galvanizado, debido al largo total del proceso de extremo a extremo con un recorrido total de 63 metros, en el cual idealmente todos los hilos deben de ocupar un solo espacio que debe seguirse y respetarse sin cruzamientos entre sí, ni afuera de las guías. En la práctica lamentablemente esto no es así, debido a que el paso del tiempo ha provocado que las guías posicionadas estratégicamente en ciertos puntos del proceso ya no hagan el trabajo para el cual fueron diseñadas, puesto que en el alma de la guía provoca cruzamientos y rupturas pues el alma de la guía esta deformada, la fricción entre las guías que ya no giran alrededor de su eje y la provocada entre el cruzamiento de los hilos.

Estas guías son de dos tipos, la primera y más común es la de tipo polea, cuyo principal efecto es el de cambiar el sentido del alambre de un punto al otro, por ejemplo desde la canasta de materia prima o alambre trefilado hasta las guías tipo ranura de material refractario de las recámaras de precalentamiento del horno para luego seguir hasta las del propio horno. Muchas de las poleas por falta de mantenimiento preventivo ya no giran alrededor de su eje y se ha perdido su excentricidad circular, estas son fabricadas con un acero especial el cuál es mandado a templar para lograr un grado de dureza mayor, lo que las ayuda a ser más resistentes al desgaste, pero el paso de las cantidades de producción provocan siempre el efecto de deterioro del metal.

También la emanación del ácido clorhídrico utilizado en el proceso va corroyendo los metales formando cáscaras o capas de óxido que al caerse van debilitando el metal de estas poleas. También el efecto que tienen las canastas con alambre trefilado deben girar de forma libre 360°, si esta por alguna razón se atasca entonces también tiende a romper el alambre pues vence el punto de cedencia ya que se reduce el área del diámetro del alambre.

Otro factor importante es el hecho que existen también guías tipo ranuras las cuales son de material refractario, como se ha hecho mención, estas deberían de ser ocupadas únicamente por un hilo a la vez, pero el paso del tiempo y los mismos niveles de producción han reducido el alto de las paredes de las mismas, lo que promueve cruzamientos internos dentro de las recámaras del horno lo que conlleva también a las rupturas y sus efectos negativos.

Es importante señalar que existe dentro del proceso 3 rodillos que se convierten en arrastradores los cuales en ocasiones se atascan de suciedad provocando la fricción que ayuda a las rupturas de los alambres. Debido a todas estas razones es importante darle mantenimiento al sistema de guías y rodillos.

3.2.2. Mejoramiento en la tensión de los hilos

Este efecto es provocado por los problemas en el posicionamiento de los hilos, el mal funcionamiento de las guías y rodillos, tratando de corregir este problema y no perder kilogramos hora de producción. Se propone mejorar la tensión en el sistema de poleas reemplazando las dañadas, un total de 23 según una evaluación de mantenimiento preventivo, y engrasando otras 17 al igual que los rodillos arrastradores, los cuales se engrasarán y limpiarán sus ejes. Por parte de gerencia se autoriza que el Departamento de Tornos les aplique maquinado buscando que la superficie de contacto pueda direccionar mejor el alambre, logrando una mejor precisión, evitando cruzamientos y la fricción en la guías reduciendo al máximo las rupturas.

Existe un efecto de holgura y estiramiento en el alambre, el cual también propicia la ruptura. Para reducir este problema se busca un movimiento constante a lo largo del tiempo sin cambios abruptos que provoquen inestabilidad en la línea. Cabe mencionar que desde el punto de vista de la seguridad industrial el riesgo de accidente por atrapamiento, quemadura o salpicadura de ácido o zinc es mayor al estar pasando los hilos para enhebrar y darle continuidad a la línea, cualquier esfuerzo por evitar el peligro es importante.

3.2.3. Seguimiento operativo al desenrollamiento de los hilos

La propuesta es una formación del hábito de rutina operativa dentro del recurso humano de la línea de alambre galvanizado buscando de forma constante oportunidades de mejora y la estabilidad del proceso. Un control desde las 18 canastas de producto terminado y las 18 bobinas de producto terminado, un procedimiento estructurado que forme un protocolo previo y durante el arranque así como también ya en proceso continuo. Lamentablemente en la actualidad los dos grupos de operadores perdieron la rutina operativa, en parte a la falta de supervisión y también porque se han convertido únicamente en personal que soluciona las constantes rupturas de los hilos de producción, actividad que consume mucho tiempo para volver a restablecer la continuidad del proceso.

Desde el concepto de desenrollamiento de los hilos vale la pena crear el hábito de inspección visual de las bobinas de materia prima, es decir alambre trefilado provenientes de las trefiladoras pues la pérdida de la simetría en las espiras aumenta la probabilidad de las rupturas, por lo tanto una constante evaluación de ellas podría ser una solución parcial al problema, pues se puede eliminar la porción que pierde la forma dejando únicamente las secciones que si cuentan con la forma para un adecuado desenrollamiento. Esto se realiza cortando las secciones malas para luego soldarlas con una máquina de soldadura de ionización que básicamente funde el extremo anterior con el posterior.

Básicamente funde la unión de alambre que luego dentro de la misma máquina existe una sección de pulidora con disco de cepillo de alambre el cual limpia el área previa a la soldadura y después de ella. Se cuenta con esta máquina dentro del área por lo que no necesita ninguna inversión extra es

únicamente una rutina operacional. Se piensa implementar una tabla que obligue que el personal verifique al menos una vez por turno la simetría de la materia prima de la siguiente forma.

Tabla V. Verificación de canastas de alambre trefilado o materia prima del proceso de alambre galvanizado

	Forma adecuada de espiras inspección visual	Rotación adecuada de las canastas, giran libremente vacías	Rotación adecuada de las canastas, giran libremente llenas	La canasta cuenta con una cantidad aceptable de alambre de 40 a 60 kilogramos.
Lado derecho canastas 1-9				
Lado izquierdo canastas 10 - 18				

Fuente: elaboración propia.

Esta tabla es presentada a gerencia y de ser beneficiosa podría utilizarse incluso más de una vez por turno con el propósito de eliminar las rupturas del alambre, incluso podría llevarse a cabo cada vez que se cambie una de las 18 canastas.

3.3. Mejoramiento en la vida útil del ácido clorhídrico

El proceso del laminado en frío utiliza el polvo para trefilado, este es un polvo grafitado que reduce la fricción generada entre el dado y el alambre en el momento en que pasa él. En el proceso de galvanización este polvo crea efectos negativos y se busca eliminar cualquier presencia dentro del alambre, al hacerlo se garantiza una buena adherencia del zinc, esto debe hacerse de forma adecuada y constante a lo largo de todo el proceso.

La reacción química-detergente que realiza el ácido clorhídrico sobre el alambre básicamente limpia el alambre, cuando es sumergido en el tanque de ácido, existe un juego de rodillos que direccionan al alambre a entrar al tanque al inicio del tanque y otros al final del tanque que lo obligan a salir, a lo largo de 3,9 metros en que permanece sumergido el alambre se busca eliminar totalmente la grasa grafitada en el alambre, el ácido debe tener lo que se denomina fuerza limpiadora necesaria, para que en los aproximados 19 segundos que dura la inmersión, salga totalmente limpio y sin el efecto grasoso preparándolo para las siguientes etapas del proceso.

El ácido tiene una vida útil que se va perdiendo cuando entra en contacto con el medio ambiente, desde que se destapan los toneles que lo contienen. Vale la pena señalar que por definición una buena calidad de revestimiento de galvanizado por inmersión en caliente, está formada por una reacción metalúrgica entre el acero bien limpio y el zinc derretido, lo que se busca es la formación de una serie de aleaciones hierro-zinc que sean cubiertas por el zinc relativamente puro. El proceso exige la inmersión total de los componentes, tanto en el ácido clorhídrico como se expone, luego en el amonio que tiene un efecto fundente que ayuda a la adherencia y por último al zinc.

La durabilidad de la presencia del ácido clorhídrico en el proceso depende de factores importantes como la calidad del ácido y el más importante es el diámetro del alambre que está en proceso.

En la actualidad para el calibre de análisis los 350 kilogramos hora, se convierten en 8 400 kilogramos al día y en 46 200 kilogramos por semana, lo que lleva actualmente a un consumo de 8 toneles de ácido clorhídrico, en la siguiente tabla se muestran la relación de producción respecto al consumo de ácido y las productividades alcanzadas.

Los datos mostrados en la siguiente tabla son resultado de:

Productividad₁ 46050 kg / 1665,4 lt = 27,65 kg / lt

Productividad₂ 46100 kg / 1665,4 lt = 27,68 kg / lt

Productividad₃ 46012 kg / 1665,4 lt = 27,62 kg / lt

Productividad₄ 46018 kg / 1665,4 lt = 27,63 kg / lt

Tabla VI. **Productividad actual**

Semana de producción	Producción Kg	Consumo de ácido lt	Productividad kg / lt
1	46 050	1 665,4	27,65
2	46 100	1 665,4	27,68
3	46 012	1 665,4	27,62
4	46 018	1 665,4	27,63

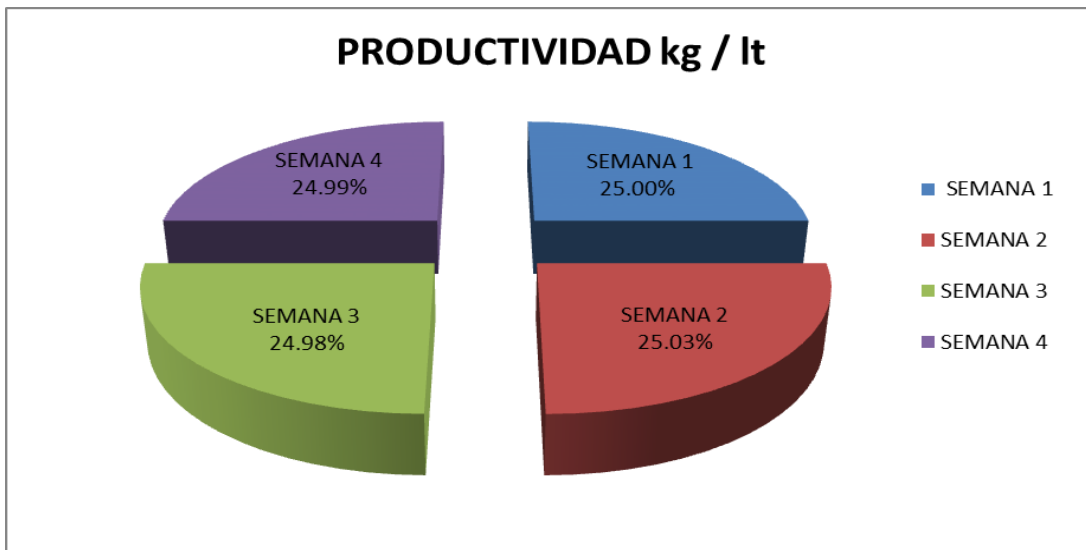
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Productividad actual**



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Porcentaje de la productividad actual**



Fuente: elaboración propia.

Cabe señalar que la evaluación de la calidad del ácido debería ser medida mediante análisis de control de calidad que a través del tiempo se ha dejado de realizar, debido a que ya no se cuenta con el equipo necesario para la prueba y hoy por hoy se hace únicamente por inspección visual de la calidad del recubrimiento del alambre: cuando se ve que este ya no tiene un nivel adecuado de adherencia del zinc o está saliendo manchado, entonces a la cantidad inicial de 6 toneles de ácido se le aplican otros 2 más para compensar en envejecimiento en el tanque, lo que equivale a otros 400 litros adicionales de la cantidad inicial de 1 200 litros.

3.3.1. Recirculación del ácido clorhídrico

En los inicios del proceso de inmersión en caliente en Inglaterra originalmente para la limpieza de la pieza a galvanizar se utilizaba ácido muriático en forma líquida, el cual tiene un efecto de limpieza acelerada sobre la superficie a galvanizar, esto da como resultado eficiencia en el proceso pues el aprovechamiento del ácido líquido tiene un intervalo de acción bien amplio, en relación a la calidad de limpieza de la pieza que va a ser sumergida en el tanque de zinc.

El proceso exige la inmersión total del alambre tanto en químicos de pretratado como es el caso del amonio, el efecto negativo del ácido muriático es respecto al daño en el organismo humano por dos efectos:

El primero es que al entrar en contacto directo con la piel este causa eraserciones o quemaduras que podrían llegar a catalogarse de hasta segundo grado, y la segunda es por efecto de inhalación, es decir al entrar en contacto con el sistema respiratorio del ser humano, este daña pulmones y sistemas bronquiales en las personas.

El efecto limpiador del ácido muriático ha quedado en desuso por el ácido clorhídrico el cual no tiene el mismo efecto limpiador en el alambre pero que es menos perjudicial para el entorno laboral. La pieza a galvanizar con zinc debe estar libre de contaminación, esto es un prerequisite importante para lograr un recubrimiento adecuado del alambre.

El zinc tiende a recubrir contaminantes, como el aceite y el polvo, luego esto hace que el alambre se vea con un recubrimiento no uniforme, con manchas, por lo tanto el efecto detergente desengrasante debe tener la fuerza de acción adecuada. Es importante tener en cuenta que si el alambre tiene mucha escoria en su superficie provocará que se vea un alambre con escamas, lo que se denomina como un alambre de segunda o tercera, dependiendo de la cantidad de daño que el auditor de calidad evalué.

El constante paso del alambre en el tanque de ácido y el tiempo harán que este pierda la fuerza de limpieza, esto debido a que en él se va depositando el polvo grafitado y lo va volviendo grasoso. Por esta razón es que se busca reactivar la mezcla en el tanque de ácido volviendo a aplicar 400 litros más como ya se ha mencionado.

Para corregir este problema se propone colocar un flote en el tanque que permita la activación de una bomba que mediante dos tuberías, una de ingreso y la otra de salida, pueda realizar una recirculación, evitando que se forme el alojamiento del polvo que podrá ser atrapado en un filtro dentro del sistema de recirculación.

Este tiene un impulsor especial con un revenido el cual puede soportar el entorno del ácido, la siguiente tabla evidencia el aumento en la productividad con este sistema del 10 %.

Los datos mostrados en la siguiente tabla son resultado de:

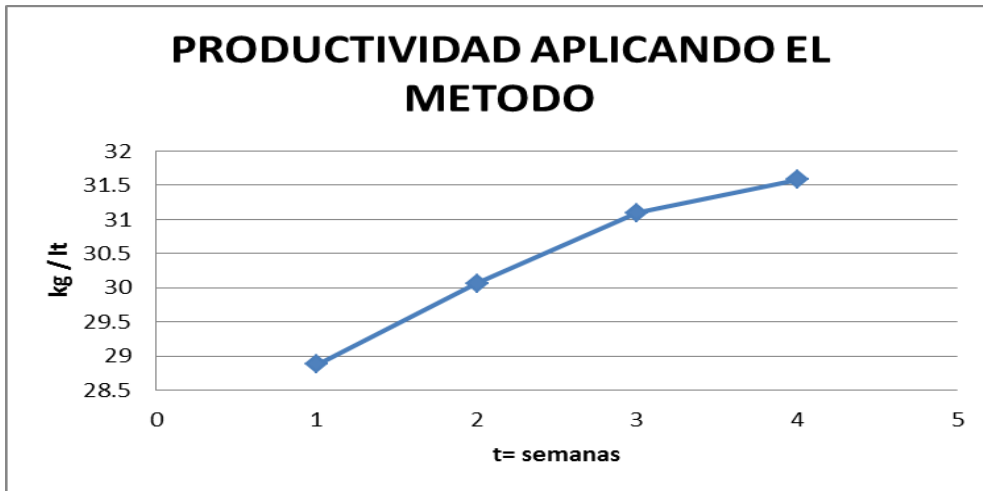
Productividad ₁	48,100 kg / 1665,4 lt	=	28,88 kg / lt
Productividad ₂	50,072 kg / 1665,4 lt	=	30,06 kg / lt
Productividad ₃	51,800 kg / 1665,4 lt	=	31.10 kg / lt
Productividad ₄	52,600 kg / 1665,4 lt	=	31.58 kg / lt

Tabla VII. **Comportamiento del proceso con la recirculación del ácido clorhídrico**

Semana de producción	Producción kg	Consumo de ácido lt	Productividad kg / lt
1	48 100	1 665,4	28.88
2	50 072	1 665,4	30.06
3	51 800	1 665,4	31.10
4	52 600	1 665,4	31.58

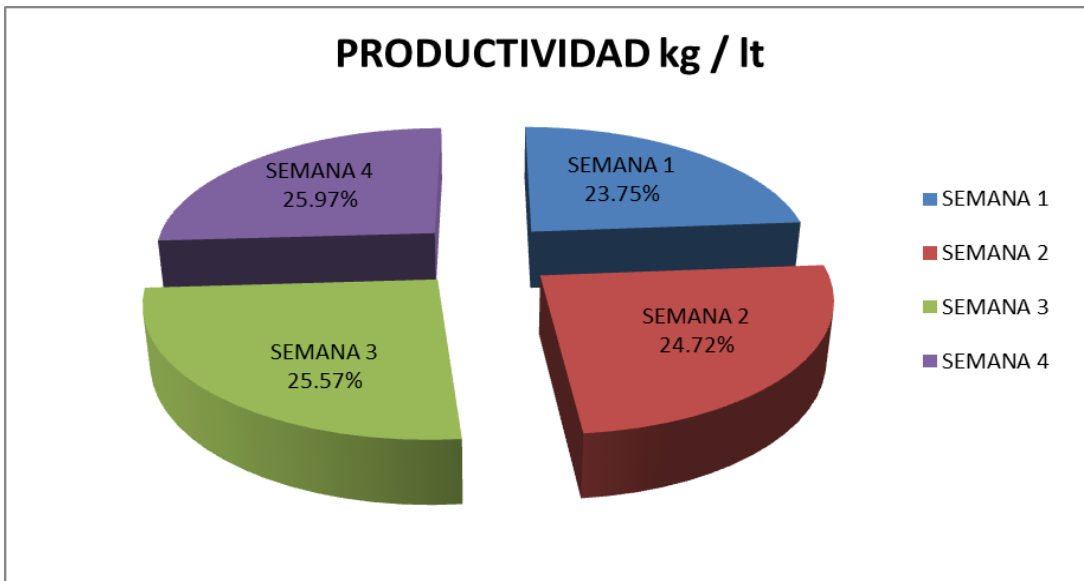
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Productividad después de aplicar el método**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Porcentaje de la productividad después de aplicar el método**



Fuente: elaboración propia.

Se evidencia que en un mes se logra un cambio en el nivel productivo de la línea comparado contra la tabla VI sin recirculación del ácido.

3.3.2. Sistema de transferencia semiautomático

Con la habilitación y prueba realizada y en la búsqueda de optimizar de mejor forma los recursos se propone un circuito de regulación semiautomático que activará la bomba de recirculación con dos formas de trabajo, la primera será temporizada con relevación eléctrica por medio de contactores y la segunda utilizando un sistema de flote que vigila constantemente el nivel de sedimentación depositado en el tanque y que pueda determinar la cantidad de litros que son necesarios dentro del sistema para reactivar la mezcla, esto mediante un anillo de recirculación que contará con un tonel de ácido siempre listo para inyección de ácido.

Un *bypass* que evite el retorno del ácido dañado al tonel esto se realizará bajo la operación de las personas del proceso de galvanización, lamentablemente esta propuesta fue realizada en forma parcial ya que no se consiguió la autorización de la gerencia para poder implementarla en su totalidad, debido a que no se cuenta con el personal suficiente como para poder efectuar los cambios, esta propuesta podría definirse como un punto de partida para futuros estudios de mejoramiento de la productividad y que ayuden a la reducción de insumos o al aumento de producto terminado, siempre que sea autorizado por la gerencia.

3.4. Cambio de variador de velocidad de mecánico a electrónico en las enrolladoras

Esta es una propuesta fundamentada en la deficiente precisión con la actualmente se cuenta dentro del proceso, debido a este factor se piensa proponer a gerencia el estudio de un moto variador electrónico este tipo de sistema es de uso común en muchas aplicaciones industriales hoy en día, básicamente el trabajo que realiza es variar la frecuencia de la señal sinusoidal de la red comprendida entre 0-60 Hertz.

Partiendo del principio básico de la frecuencia angular que se define como la velocidad tangencial que es igual a la velocidad angular por el radio. El radio es constante pues es el del rotor que en este caso esta acoplado al eje de la caja reductora de las embobinadoras al final del proceso por lo tanto lo que puede variar es únicamente la frecuencia. Esta se encuentra en la expresión de velocidad angular es igual a $2 \times \pi \times$ frecuencia variando entre 0 y 60 Hertz.

Esto lo realiza un bloque electrónico que está compuesto de un circuito con unos dispositivos denominados IGBT lo cuales por sus siglas en inglés quieren decir transistor bipolar de compuerta aislada, el cual es un potente semiconductor que logra poder manipular valores de tensión bien elevado en sus terminales de potencia y con una precisión controlada por su compuerta bipolar aislada, puede conmutar en los dos sentidos de cualquiera de las tres fases de 440 voltios.

Debido a que se cuenta con anuencia de la gerencia se pedirá a otra sucursal el traslado de otras secciones que han desaparecido para poder implementarlo en la planta de alambre galvanizado, esta es otra propuesta que puede servir para otros procesos productivos como otros diámetros de alambre.

Se busca poder variar la velocidad por que con esto se podrá encontrar un equilibrio entre el incremento del producto terminado y la calidad esperada en el recubrimiento del zinc, es decir la velocidad óptima entre que no sea muy grueso ni tampoco muy poroso con deficiencias en la continuidad del recubrimiento.

Con la ayuda del variador electrónico se podrá agregar al circuito un tacómetro digital que pueda mostrar en una pantalla los valores de velocidad obtenido los cuales pueden ser regulados y servir para el registro de las velocidades de una mejor forma, con este valor ya se podrá fabricar una tabla para los diferentes calibres de recubrimiento.

Este circuito tiene la bondad de mostrar décimas de valores de Hertz lo cual demuestra su precisión y calidad en los procesos, muy diferente a la variación actual pues el variador mecánico únicamente puede hacerlo al mover la manivela a la posición siguiente lo que hace que la línea tenga mucha holgura y una alambre muy grueso para recubrir o por el contrario muy tenso debido a una velocidad muy alta lo que ocasiona rupturas del mismo.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Prueba para incrementar la carga de procesamiento del horno de recocido

Para recubrir el alambre con una capa de zinc relativamente puro con un proceso de galvanización en caliente, el acero limpiado y bañado en zinc fundido, de manera adecuada mostrará una apariencia plateada este es precisamente un factor que debe tomarse en cuenta para poder incrementar la carga del horno, debido a esto se tienen dos extremos dañinos en el proceso, el primero es un revestimiento muy grueso con una apariencia estética menor y el otro extremo sería un alambre galvanizado con manchas debido a descascaramientos provocados por los brumos.

Los factores que determinan las propiedades totales del espesor y metalúrgicas de un revestimiento galvanizado en caliente son la composición metalúrgica del acero, la temperatura del zinc, el tiempo de inmersión, las adiciones de aleación al zinc, velocidad de extracción de un artículo del zinc fundido, la condición de la superficie y espesor del acero.

Para probar el incremento de la carga en el proceso, hay que tener en cuenta que los revestimientos de zinc en el alambre se realiza mediante el paso del alambre por debajo de una paleta esta tiene múltiples áreas de contacto que permiten al zinc fundido y a las capas de aleación actuar como lubricantes para facilitar el paso del alambre, la configuración también restringe el desarrollo de la aleación hierro-zinc por lo tanto hay que tener en cuenta que el incremento de la carga se podrá realizar hasta que la prueba por adhesión del

revestimiento de zinc lo permita, esta prueba se llama de decapado y básicamente mide que tan bien adherido está el galvanizado en el alambre de acero, que este no presente agrietaduras o se pueda descascarillar hasta el punto que ninguna escama del revestimiento podrá ser removida de la formación al frotarlo con los dedos desnudos. El aflojamiento o desprendimiento de las partículas superficiales de zinc durante la prueba del incremento de la carga no serán consideradas aceptables para su aprobación

4.1.1. Arranque del quemador sin utilizar en el sistema

Para el arranque del quemador se partirá del análisis de la cantidad de producción como se ha venido planteado en kilogramos por semana y como insumo los litros de diesel, actualmente el medidor o contador de litros del tanque de diesel hacia los quemadores cuantifica el consumo, del cual se lleva un registro pues de este surge un indicador de la producción que se denomina energía de recalentamiento en kilowatt horas de consumo por kilogramo de producción.

También vale la pena mencionar que actualmente la tendencia del incremento de la producción, es debido a que este es la materia prima para otros procesos subsecuentes como lo son alambre espigado y las secciones de clavo para madera y clavo para lámina estos últimos son para calibre número 8, pues es un diámetro mayor el que se utiliza, mientras que el calibre 12 si se utiliza para el alambre espigado que ha incrementado su demanda debido a que se exporta para Centro América y el Caribe.

Por lo tanto se requiere un incremento en la producción, comercialmente se tienen dos presentaciones de alambre espigado la primera se denomina Toro de 400 yardas equivalente a 364 metros y la otra presentación se

denomina económica, la cual tiene como diferencia una cantidad menor en las grapas o púas en la presentación, la justificación para el estudio del incremento de la productividad es latente y esto puede dar un punto de partida para estudios posteriores incluso para otros calibres en la producción.

Se propone que con 47 000 kilogramos semanales de producción de alambre se cubrirá la demanda, por lo que hace la prueba durante 4 semanas siempre y cuando se tenga el efecto visual platinado que es la evaluación visual que se lleva a cabo, y la producción no esté entre opaca debido a un recubrimiento muy espeso o por el contrario con manchas de debido a un recubrimiento muy pobre.

En las condiciones actuales se tienen únicamente un incremento en el consumo de diesel por semana del 2,5 % lo que equivale a 30 litros más por lo que sin incrementar la cantidad de producto terminado no vale la pena y por el contrario el índice de productividad se reduce.

4.1.2. Rendimiento del horno en función de la nueva carga de producción

Para la producción de alambre galvanizado y la mayoría de aceros al carbón, recocidos en los distintos procesos de laminación en frío o en caliente como se ha venido mencionando se utiliza 4 quemadores o muflas y para el proceso de alambre calibre 12 es utilizado únicamente 1 lo que es justificado como ya se mencionó, el calor se proporciona de forma homogénea o constante a los 18 hilos de alambre, que son llevados a una temperatura en la cual pueda haber un reacomodo en el empaquetamiento de la cristalografía metalúrgica propiciando que el alambre pueda ser limpiado en la etapa del ácido.

En el horno se derrite la grasa, el rendimiento óptimo en el horno se logra cuando se tiene una flama anaranjada que indica que la mezcla es la adecuada, pues para los efectos de combustión se dice que si una flama es azulada tiene una mezcla con un valor muy alto de oxígeno y existe mucho aire comprimido en la mezcla, y si es muy rojiza entonces se tiene una muy carburante y lo que tiene es una proporción más alta de diesel, estas regulaciones se efectúan mediante llaves manuales, un buen recubrimiento de alambre se da cuando se tiene flama tiene una proporción igual dentro del quemador.

4.2. Arranque del sistema de recirculación del ácido clorhídrico

Debido a que se cuenta con la anuencia de la gerencia de la planta se podrá ir seccionando el arranque del sistema de recirculación del ácido, esto con el afán de que se pueda tener una mejor eficiencia en el recurso del insumo necesario, la vida útil del ácido se mide con una prueba denominada ensayo de decapado, que básicamente es una prueba destructiva para el recubrimiento en la cual se utiliza una sección de alambre de 10 centímetros de alambre calibre 12 sumergido en una probeta con la muestra del ácido del tanque, la intención es que en menos de 10 minutos se caiga totalmente la adherencia del zinc sobre el alambre.

Esto se lleva a cabo con una agitación leve sobre la probeta, si esto no ocurre entonces se dice que el tanque necesita ser reactivado nuevamente con una cantidad que compense la fuerza requerida para limpiar el alambre es decir agregar los dos toneles nuevos de ácido a la mezcla lo equivalente a 411 litros, actualmente se está haciendo de forma semanal después de 72 horas de haber arrancado, de forma ideal lo que se busca es que el tiempo de envejecimiento del ácido se alargue de ser posible durante toda la semana de producción

logrando un efecto desengrasante detergente, sin necesidad de reactivar la mezcla del ácido.

4.2.1. Medición del aumento de tiempo de vida útil del ácido clorhídrico

Para poder verificar y documentar el tiempo de la vida útil del ácido se llevará registro con el Departamento de Control de Calidad, es decir con los auditores de planta de alambre galvanizado, los cuales colaborarán con 3 registros diarios desde que arranca el proceso y que permitirán comprobar si este tiempo de vida útil del ácido mejora, el formato se presenta a continuación.

Tabla VIII. Pruebas de ensayo de decapado, tiempo medido en minutos

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
06:00		10	18	10	16	19
14:00		10	20	10	17	20
22:00	07	10	20	11	18	20

Fuente: elaboración propia.

El día lunes no aparece registro en los 2 primeros horarios debido a que el área está en mantenimiento y se está preparando la línea para el arranque.

4.3. Pruebas del sistema nuevo de transferencia del ácido clorhídrico

Las pruebas buscan evidenciar el efecto beneficioso para el proceso productivo en cuanto a alargar el periodo de tiempo durante el cual el ácido clorhídrico tiene un efecto adecuado en la limpieza del alambre, en la actualidad mantener la fuerza de detergente limpiadora en el ácido es un costo elevado, debido a este factor se busca eficiente este insumo, para ello se analizaron dos propuestas las cuales provocan un proceso más seguro y controlado para las personas, así como más amigable con el medio ambiente.

4.3.1. Bomba de recirculación

Este sistema tiene dos objetivos primordiales, el primero es agitar la mezcla para poder reactivarla de forma constante. Debido a que el sistema cuenta con entrada y salida por medio de tuberías, la de ingreso estará siempre conectada a un tonel nuevo de ácido colocado a una altura de 2,10 metros, el cual por medio de precipitación podrá abastecer el tanque cuando así sea requerido y la tubería de salida para evacuar una porción del volumen total cuando según la evaluación de la auditoría lo crea conveniente, el recorrido de descarga llevará un sistema de filtrado especial el cual desembocará en la planta de tratamiento.

Es importante mencionar que las tuberías así como el impulsor, deben de ser de una aleación especial para poder soportar el paso del ácido, a través de ellos la tubería es tubo galvanizado de doble densidad y el impulsor de la bomba que también tiene contacto con el ácido también tiene un revenido especial para poder trabajar en estas condiciones, el costo del sistema es bajo debido a que estas partes vienen de otras plantas filiales de la Corporación Aceros de Guatemala. El diseño evita la sedimentación del polvo lubricante del

alambre trefilado debido a que lo mantiene en agitación constante y a que los filtros lo atrapan, las otras partes del sistema como lo son sellos mecánicos y acoples de unión deberán de ser de polímeros para evitar la corrosión del metal.

La recirculación del ácido podrá ser detenida eléctricamente lo que detienen la bomba de empuje del fluido, se contará con una tubería de retorno con el propósito de drenar los remanentes dentro del sistema, lo que permite una mejora adicional al poder limpiar de forma rutinaria los filtros que atrapan partículas del proceso, así también el polvo de trefilación dando la oportunidad de un insumo más limpio a lo largo del tiempo.

Tabla IX. Prueba de ensayo de decapado partiendo de la implementación de la propuesta de la recirculación del ácido, el tiempo en minutos

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
06:00	--	8	9	13	17	20
14:00	--	8	11	15	17	19
22:00	07	9	9	17	16	20

Fuente: elaboración propia.

En la tabla se muestra una prueba del mejoramiento de la vida útil del ácido, donde se reduce el tiempo del ensayo de decapado, lo que demuestra que se puede eliminar la necesidad de aplicar una cantidad extra del insumo durante la semana y aún con el incremento de la producción se logra el mejoramiento con la propuesta. También los días lunes no registra lectura en los dos primeros horarios debido a que durante el día existe período de mantenimiento y arranque de la línea lo que consume todo el turno.

Para preparar la línea se tiene el acompañamiento del horno de recocido el cual se enciende en las primeras horas, debido a que el ladrillo refractario lleva un tiempo previo de calentamiento lo que se denomina arranque en rampa para evitar que este se fracture e incluso se derrumbe.

4.3.2. Sistema de recirculación

Este sistema funciona por medio de flotes limitadores de nivel, los cuales se convierten en actuadores vigilas de la ignición de la bomba de recirculación, colocado para arranque cuando llega a la posición más baja y paro cuando llega al nivel más alto abasteciéndose por medio de un tonel siempre listo para proporcionar y compensar la altura necesaria del ácido y requerido por los niveles de producción. También contará con el circuito de mando eléctrico que el operador de la línea puede pulsar cuando se arranque o se pare por emergencia por mantenimiento correctivo o mantenimiento preventivo.

Para el momento de arranque se podrán verter los 1 200 litros de una forma más segura y controlada, pues se elimina la necesidad usar el montacargas para descargar el ácido hacia el tanque logrando un abastecimiento automático, con esto se garantizará guardar el nivel requerido por la producción y con ingreso de ácido nuevo que reactive la mezcla. Este sistema contará con un circuito de relevación industrial temporizado por medio de relevación industrial con contactores industriales los cuales actuarán cada 1,5 horas, con un intervalo de funcionamiento de 20 minutos, tiempo en el que recirculará el ácido a través del sistema.

El atascamiento de los filtros puede evitarse si se coloca un ramal de tubería que permita desviar el fluido para dejar deshabilitado el filtro en funcionamiento hacia otro ya con un filtro limpio o nuevo. Este es un sistema que basado en el sentido común que promueve un mejoramiento del tiempo de vida del ácido clorhídrico, logrando también una reducción en el riesgo del personal operativo. Durante el tiempo de mantenimiento se hará uso también de este sistema para drenar el contenido y que este pase por el sistema de filtrado antes de caer a la planta de tratamiento, buscando ser más amigable con el entorno.

4.4. Control de procedimientos operativos propuestos

Al evaluar la rutina operacional, se evidencia que existe muy poco control, ya que la mayor parte del tiempo el personal tiene tareas y actividades cuyo propósito es darle continuidad al proceso. Debido a las constantes rupturas de la materia prima y a la descarga de producto terminado en el extremo opuesto en el área de las embobinadoras se consume un tiempo aproximado de 4 horas de las 12 útiles del turno.

Lo que realmente absorbe el tiempo de operación son las rupturas de los 18 hilos. Este es un efecto negativo que produce merma o desperdicio tanto del hilo que quedó dentro de la línea, como el que se introduce de nuevo, dejándose de producir alrededor de 3 kilogramos durante el tiempo de la interrupción, y exponiendo a los operadores a la alta temperatura del horno, a la salpicadura del ácido o del amonio, a atrapamientos en el paso del alambre por los rodillos y a contusiones en las embobinadoras.

La calidad de los hilos restantes que no han sufrido ruptura y que quedan dentro del horno se ve afectada debido a que se recalientan provocando un recubrimiento más grueso e incluso grumos, también el alambre que ingresa a proceso no tiene la calidad requerida puesto que la punta se cristaliza y se vuelve quebradiza. Las rupturas son constantes y muchas veces se logra reestablecer un hilo cuando ya se ha reventado uno o dos más. Todo esto señala un procedimiento fuera de control que está muy alejado de una rutina operacional provocando un proceso castigado en sus indicadores de gestión.

4.4.1. Proceso más continuo

La gerencia está consciente que existe poca eficiencia en el proceso de alambre galvanizado debido a que la planta es muy antigua y ha subsistido con niveles de producción diferentes a los requeridos en la actualidad donde la demanda y el mercado se incrementaron. En función de esto, las modificaciones son llevadas a un nivel de necesidad en cuanto a maquinaria y equipo, complementando esta inversión con un plan de formación operacional con el afán de aumentar la productividad del proceso.

La operación es artesanal y el diseño original de ingeniería no permite poder ofrecer una continuidad aceptable, debido a esto la propuesta es buscar la reducción de interrupciones, ya que toda planta moderna de galvanización de alambre tiene medición del desempeño mediante indicadores. En este caso, se tiene el de pérdida metálica que viene dada en kilogramos de chatarra/ kilogramos de producción, y la utilización una relación entre el tiempo de interrupciones/ tiempo efectivo de producción, estos son castigados directamente con las rupturas de los hilos, interrupciones por reactivar el ácido, variaciones en el fluido eléctrico, incrementándose durante el invierno.

Cualquier otro factor que haga detener el proceso, por ejemplo los eventuales problemas con el aire comprimido necesario en los quemadores del horno para hacer la mezcla de carburación y deficiencias de abastecimiento de materia prima.

4.4.2. Reducción de mermas

Basado en la fórmula de productividad y el cociente de producto terminado/ insumos, se busca incrementar el numerador de la misma (es decir producto terminado) manteniendo o reduciendo el insumo cualquiera de las dos fórmulas son aceptables. Un factor importante para la reducción de mermas es el indicador pérdida metálica, debido al principio elemental que no se puede cambiar o modificar nada que no se pueda medir. Se aplica el modelo del Brench Marking, o su equivalente en español, compararse con el mejor proceso parecido al que se está analizando que en condiciones parecidas ha alcanzado una excelencia con buenas prácticas y aplicando planes de acción que permitan la mejora del proceso.

En función de esto se tiene un valor para el 2012 de una planta de alambre galvanizado en Brasil del grupo Gerdau con 0,021 kilogramos de chatarra / kilogramos de producto terminado, mientras que el valor histórico de esta planta es de 0,052 kilogramos de chatarra por kilogramos de producto terminado. Este indicador entre más bajo es mejor, entonces todas las oportunidades de mejora deben aplicarse para hacer bajar este número. Entre los factores que afectan y castigan este valor tenemos como principales causas:

- Arranque de la línea
- Rupturas de alambre
- Paros programados / paros de línea
- Causas externas

En el caso del arranque de la planta se hace los días lunes luego del período de mantenimiento y preparación de la línea que por lo regular es al principio del segundo turno. Las rupturas de alambre son la causa más común la cual es la que aporta la mayor cantidad al indicador. Los paros programados se dan de dos formas, la primera es los días domingos cuando se detiene la producción regularmente en la madrugada y los últimos hilos que quedan en proceso se desechan pues el recalentamiento excesivo los daña y no alcanzan los requerimientos de calidad pues los vuelve más quebradizos alejándolos de la ductilidad necesaria.

Otro paro programado es debido a la reactivación del ácido clorhídrico por la acción de la limpieza del alambre, esto por lo general se hace cuando se aplican los toneles los días jueves. Las causas externas se dan por ejemplo si hay interrupciones en el fluido eléctrico o simplemente una variación en la red, pues se activan las protecciones de los compresores disparándolos y por consiguiente apagando el horno debido a que el consenso lo manda a paro por falta de aire, esto también puede provocar disparo en la bomba de suministro de diesel. Los paros por falta de materia prima son comunes.

En el mes de análisis se registraron las diferentes aportaciones de cada uno de los factores mencionados.

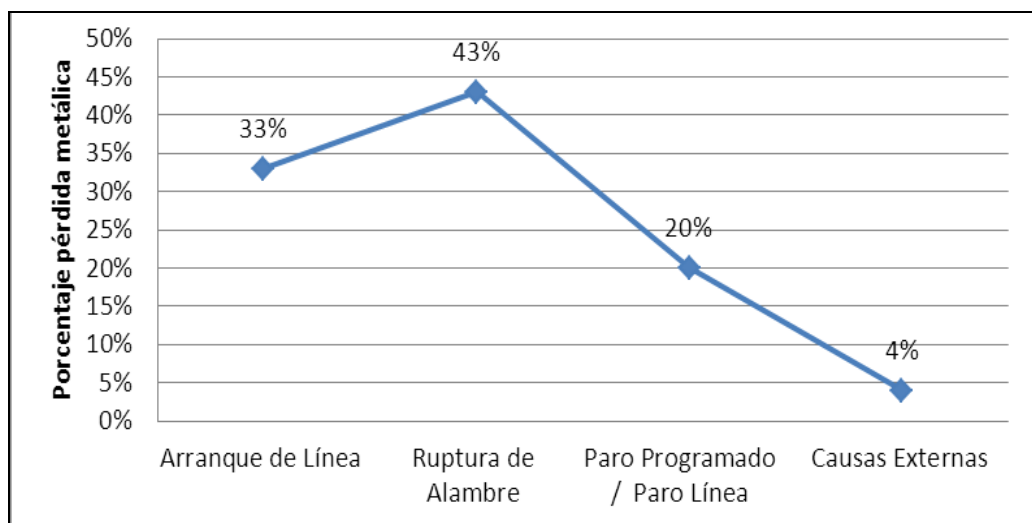
Pérdida metálica por arranque de línea = $0,0690 \times 100 / 0,21 = 33 \%$
 Pérdida metálica por rupturas de alambre = $0,0903 \times 100 / 0,21 = 43 \%$
 Pérdida metálica por paros programados = $0,0420 \times 100 / 0,21 = 20 \%$
 Pérdida metálica por causas externas = $0,0084 \times 100 / 0,21 = 4 \%$

Tabla X. **Aportes en valor porcentual del indicador de pérdida metálica**

Actividad	Porcentaje	Valor en kilogramos
Arranque de la línea	33%	0,0690
Rupturas de alambre	43%	0,0903
Paros programados / Paro de línea	20%	0,0420
Causas externas	4%	0,0084
Total	100%	0,2100

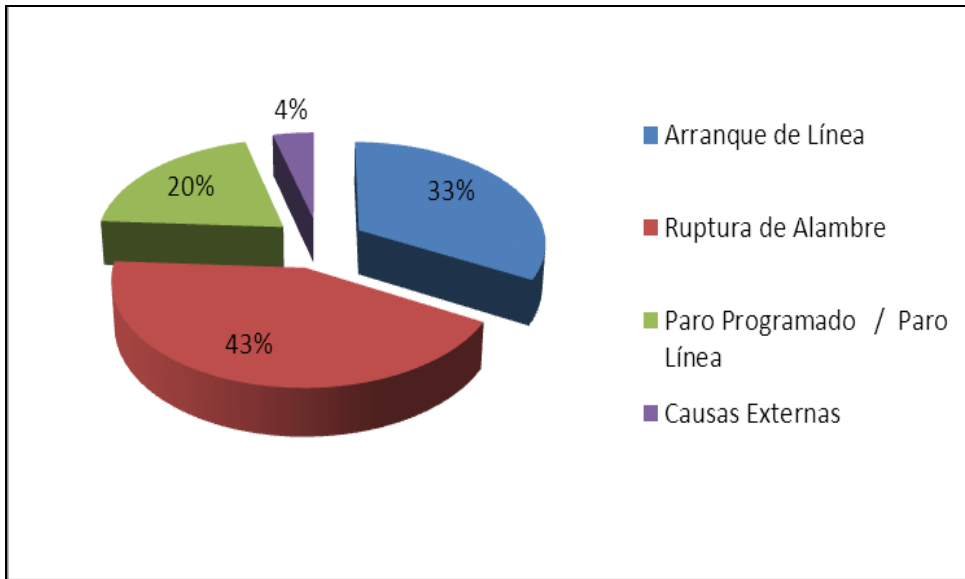
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Indicador de pérdida metálica antes del método**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Porcentaje de pérdida metálica antes del método**



Fuente: elaboración propia.

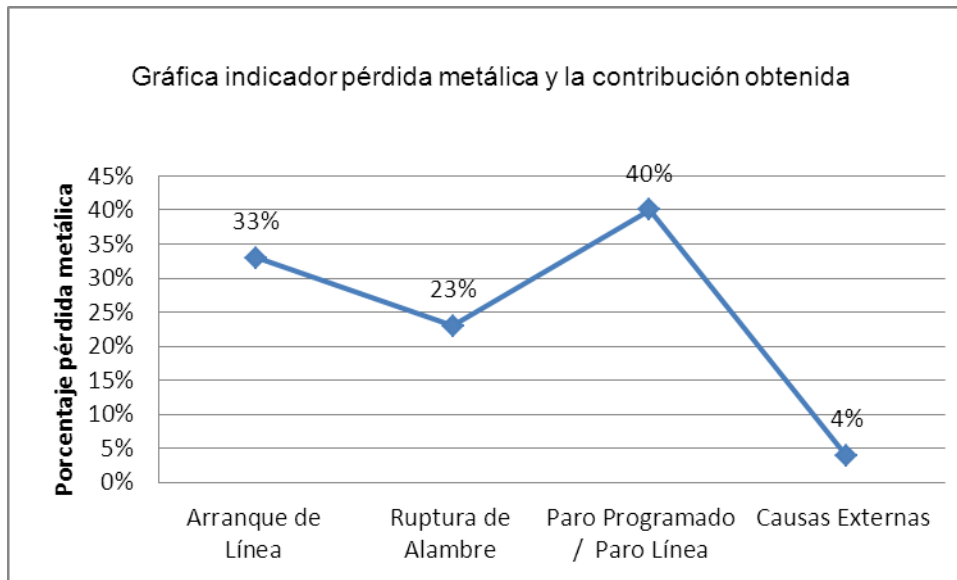
La propuesta es la reducción en las rupturas del alambre con un seguimiento y mejoramiento de la continuidad en el proceso, mediante una supervisión de la rutina operativa chequeando las guías, un mejoramiento en la soldadura de unión entre los rollos de alambre trefilado, reducir los paros programados por reactivación de la mezcla del ácido clorhídrico y control en las guías para evitar rupturas. Con el seguimiento a estas acciones atribuidas a las mejoras en el equipo y por la aplicación de un mejor comportamiento en cuanto a la rutina operativa se consiguen los siguientes valores.

Tabla XI. **Variación del indicador de pérdida metálica y la contribución obtenida**

Descripción del evento	Porcentaje	Valor en kilogramos
Arranque de la línea	33%	0,0594
Rupturas de alambre	23%	0,0414
Paros programados / Paro de línea	40%	0,072
Causas externas	4%	0,0072
Total	100%	0,018

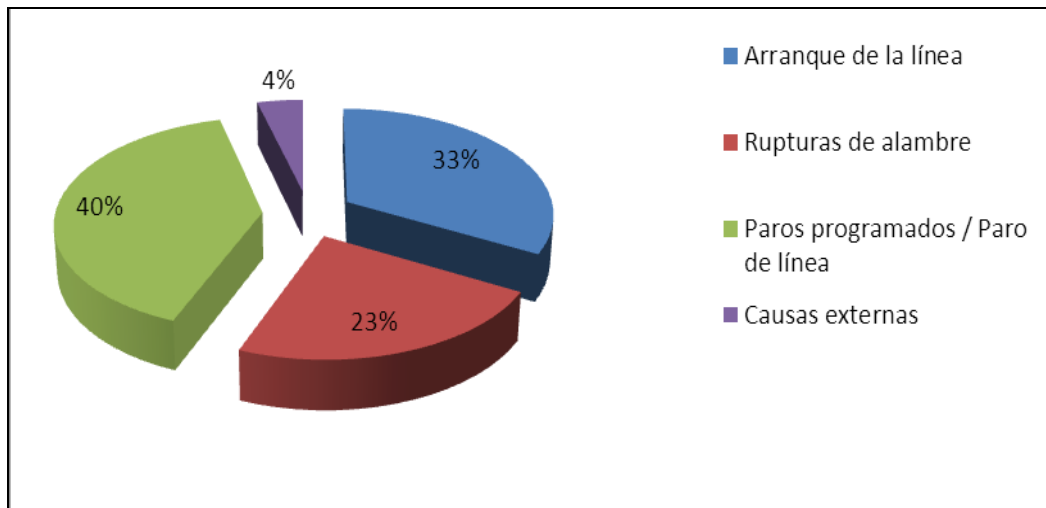
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Indicador de pérdida metálica y la contribución obtenida**



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Porcentaje del indicador de pérdida metálica y la contribución obtenida**



Fuente: elaboración propia.

Dentro de la comparación entre la tabla 10 y la 11 se puede apreciar una reducción de 3 kilogramos de chatarra/ kilogramos de producto terminado, por lo que se demuestra la mejora y la contribución al proceso con los puntos descritos.

4.4.3. Creación de una rutina en la operación

Es importante señalar que esta rutina está basada en un cambio en el comportamiento operativo, en la búsqueda de tener un mejor control del proceso reduciendo la ruptura del alambre al aplicar actividades sencillas que tienen efectos beneficiosos en el proceso, los cuales se demostraron en la tabla XI, la cual demuestra a la gerencia la importancia y relevancia que tienen estos detalles en la producción por lo que es necesario darle seguimiento y el acompañamiento a dicha rutina para seguir aumentando la productividad.

El objetivo primordial es evitar las rupturas por fricción entre los hilos debido a enredos entre los mismos, fricción generada por soldaduras de uniones débiles, por un mal direccionamiento del alambre al no pasar sobre las guías y por guías que no giran correctamente. Al señalar todas estas deficiencias y reconocerlas como oportunidades de mejora se sienta un precedente en la rutina operativa buscando un proceso más estable y controlado al evitar al máximo las rupturas de los 18 hilos dentro del proceso y que sean recubiertos de forma constante y uniforme, sin alteraciones.

Esto se logrará con lubricaciones periódicas constantes, por lo menos una vez durante el turno, buscando que los hilos de alambre no se enreden y siempre sean transportados sobre la guía, limpiando de igual forma con cepillo de alambre los electrodos de la soldadura.

4.5. Prueba para mejoramiento y estabilización del proceso con el motovariador electrónico

Dentro del sistema, el motovariador mecánico es desacoplado de la línea de producción en el área de las embobinadoras de producto terminado. Se trabaja en la nueva instalación eléctrica que utilizará para el nuevo dispositivo electrónico trasladado de otra planta, el cual podrá variar la frecuencia entre 0 y 60 Hertz, provocando que el motor asíncrono perciba una variación en la amplitud del voltaje de 440 voltios.

Este variador es de alta tecnología, la cual se basa en el funcionamiento de los nuevos IGBT que en español quiere decir transistor bipolar de compuerta aislada, el cual permite una variación de velocidad instantánea y con una precisión mejorada de hasta décimas de frecuencia, provocando un recubrimiento de los hilos óptimo y una reducción de las rupturas en los hilos

aumentando la cantidad de producto terminado. Buscando rangos de operación se encontraron estos datos experimentales, los cuales son tomados en cuenta por el Departamento de Calidad, el producto terminado obliga a imponer un valor de producción horario dentro de un intervalo cuyo límite central es de 350 kilogramos por hora.

Tabla XII. **Optimización de parámetros de velocidad del proceso de alambre galvanizado con el nuevo dispositivo electrónico**

Frecuencia (Hertz)	Producción de primera horaria kilogramo / Hora
20	342
21	348
22	362
23	390

Fuente: elaboración propia.

La tabla ayuda a la evaluación del parámetro velocidad de donde se desprende que el valor óptimo está entre 21 y 22 Hertz, con un intervalo más delimitado se puede empezar a hacer el análisis, cumpliendo con los requerimientos del Departamento de Control de Calidad.

Tabla XIII. **Valor óptimo de la frecuencia en el proceso**

Frecuencia Hertz	Kilogramo / Hora
21,3	348
21,4	349
21,5	350
21,8	356

Fuente: elaboración propia.

Del presente análisis se observa que el valor óptimo es el de 21,5 Hertz el cual todavía puede ajustarse más y ser base fundamental para estudios de precisión posteriores. Quedando demostrado un incremento en la productividad con este dispositivo electrónico ya que ahora se puede aumentar la cantidad de producto terminado a la línea.

Otro factor importante es la relación existente en cuanto a la fórmula de productividad, ya que se puede ahora de manera más precisa incrementar el numerador de la misma, es decir el producto terminado que cumpla con las especificaciones de control de calidad pudiendo dejar de igual forma el insumo, para este análisis se va a tomar como kilowatt hora, valor obtenido del medidor de energía eléctrica colocado en serie con el equipo.

Los valores de la siguiente tabla se obtienen de un registro de consumo de 27 kw/hora, dato obtenido del demandómetro de planta luego de haber instalado el motovariador electrónico.

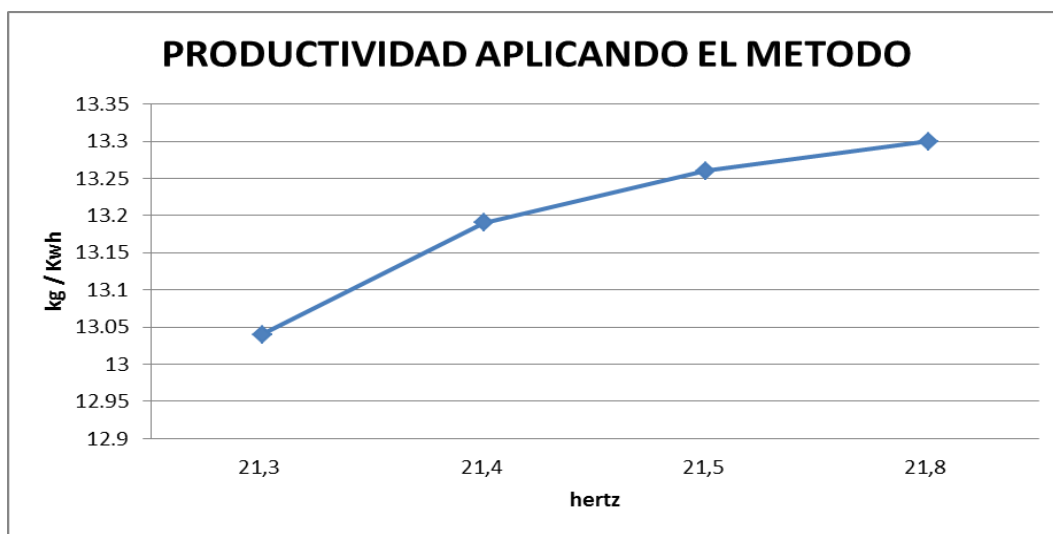
Productividad ₁	352 kg / 27 kwh	=	13,04 kg / kwh
Productividad ₂	356 kg / 27 kwh	=	13,19 kg / kwh
Productividad ₃	358 kg / 27 kwh	=	13,26 kg / kwh
Productividad ₄	359 kg / 27 kwh	=	13,30 kg / kwh

Tabla XIV. **Cálculo de la productividad en función del incremento de producto terminado y el insumo de energía eléctrica**

Frecuencia Hertz	Kilogramo / kwh
21,3	13,04
21,4	13,19
21,5	13,26
21,8	13,30

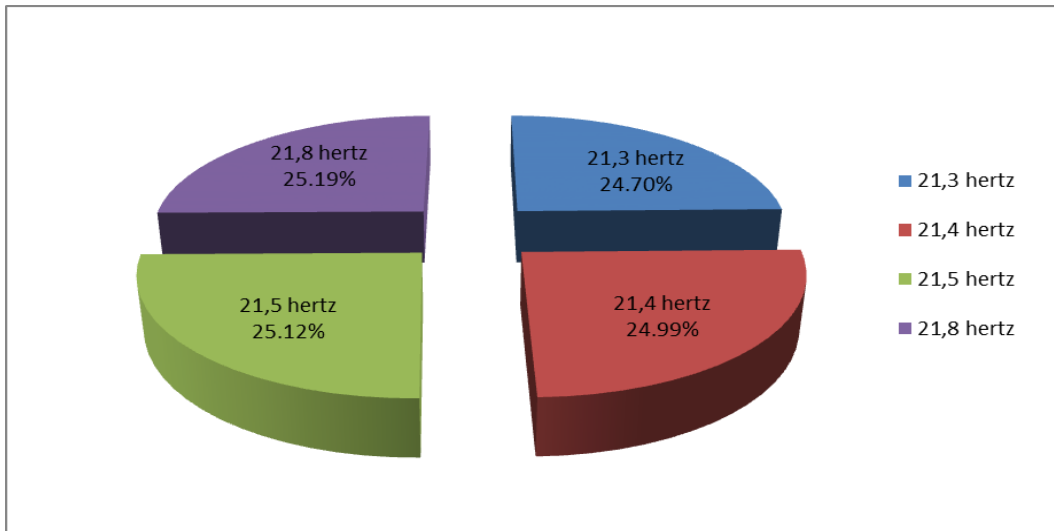
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Productividad aplicando el método**



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Porcentaje de la productividad aplicando el método**



Fuente: elaboración propia.

La tabla muestra la estabilidad en el consumo de energía eléctrica en el área de las embobinadoras aún con la instalación del nuevo equipo, evidenciando que todo valor arriba de los 350 kilogramos / hora impacta directamente sobre los valores de productividad siempre y cuando la calidad en el recubrimiento esté dentro del rango de especificaciones.

5. SEGUIMIENTO O MEJORA

5.1. Registro de aumento de la carga del horno

Las propuestas para incrementar la producción de la planta de alambre galvanizado, específicamente en la línea de alambre galvanizado calibre número 12, han sido comprobadas y evidenciadas con una mejora en la productividad. Estos principios pueden ser un punto de partida para estudios posteriores que pueden ser aplicados a todo el rango de operación de la planta, es decir con toda las presentaciones de los diámetros de alambre galvanizado.

Partiendo de la nivelación de la carga de la planta en las secciones de alambre espigado, clavo corriente y clavo para lámina demandan hoy un incremento en la productividad, por lo que cualquier esfuerzo que contribuya a alcanzar este objetivo tiene validez e importancia. En el siguiente capítulo se presenta la evidencia de las diferentes propuestas de un seguimiento a las mejoras, así como la propuesta para el seguimiento a las acciones tomadas.

5.2. Toneladas de alambre producidas por turno

Este es un registro que busca crear un nivel de competitividad sana en la planta estableciendo un ambiente de interés en el control del proceso y buscando un mayor involucramiento del recurso humano con aportación de ideas que solucionen las distintas oportunidades de mejora. Esta metodología permitirá que, por medio de árbol de causa y efecto, círculos de calidad y el tratamiento de fallas, se logre llegar al empoderamiento de las personas

adueñadas del proceso para que estas herramientas ayuden a incrementar el nivel de productividad.

Este control será una retroalimentación del turno que está por salir y parte de un relevo adecuado en la entrega de las operaciones, un aprendizaje de las soluciones que se dieron durante las 12 horas de trabajo anterior. Actualmente, dentro de la planta existe un sistema de comunicación abierto que se denomina cuadro de gestión a la vista donde se propone publicar la cantidad de producción alcanzada, los logros y méritos obtenidos durante el turno para que exista una competencia sana dentro del proceso, este dato será proporcionado por el supervisor del área que será el encargado de la cuantificación y registro del índice de productividad.

Este documento podrá ser digitado y podrá aportar información de relevancia a los indicadores de gestión y ayudar en el estudio de evaluar el desempeño histórico y poder efectuar pronósticos acertados del proceso.

Tabla XV. **Formato que permitirá un mejor control de los kilogramos producidos durante el turno**

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Turno A						
Turno B						

Fuente: elaboración propia.

El reporte llevara el recuento semanal y viene dado en kilogramos / turno, y será efectuado a las 06:00 horas para el turno nocturno y a las 18:00 horas para el turno diurno.

5.3. Tonelada producida por galón de bunker consumido

Con la utilización del contador de galones ubicado en la tubería de alimentación del horno se puede cuantificar la cantidad del consumo de este insumo y compararlo con la producción. Este análisis fue presentado anteriormente y como se logró el incremento, se busca señalar la necesidad de darle seguimiento y que sea comunicado a todos las partes interesadas no solamente a la gerencia, que por el contrario está fluya desde la cumbre estratégica a los niveles táctico y operativo.

Esto debe ayudar a comprender los diversos problemas que provocan el nivel de productividad actual, se necesita un aumento por el crecimiento de la demanda, tanto del alambre galvanizado como de sus derivados, cualquier esfuerzo como el de incrementar la producción de kilogramos de primera por galón de *bunker* deberá de definirse como una buena práctica. Esto demuestra que la búsqueda de la mejora continua no puede quedar fuera de los procesos debido a los altos niveles de competitividad los cuales presentan un desafío constante, así como fomentar la búsqueda de soluciones que contribuyan al mejoramiento.

La propuesta sugiere modificaciones de innovación para modernizar la capacidad instalada original que fue ofreciendo bajos niveles de productividad debido a deterioro del equipo por el paso del tiempo, los altos niveles de insumos que son requeridos para la producción, así como el peligro para el personal operativo.

5.4. Mejoramiento de la continuidad del proceso

Con la búsqueda de la mejora continua se ha señalado la corrección de un problema que afecta la productividad, pues cada vez que se rompe un hilo para volverlo a restablecer se consumen entre 18 y 27 minutos, según sea la habilidad operativa y la pericia de los operadores de turno, además se pierden casi 100 metros de alambre de la producción, el equivalente a 0,7 kilogramos ocasionando que los restantes 17 hilos sufran alteración en la calidad de sus propiedades mecánicas y calidad de recubrimiento del baño de zinc.

También al tener una línea más estable obtenemos como beneficio menos riesgo en la operación pues todas las actividades descritas en volver a enhebrar el alambre se evitan y la calidad del alambre permanece en los niveles de aceptación requerida.

5.4.1. Procedimiento de rutina operativa

Estableciendo horarios y estructura de trabajo se busca corregir el problema de falta de control en el proceso, así, en la entrega de turno se provocará un desarrollo adecuado de las actividades y una fluidez del proceso mejorando el desempeño y productividad. Esto se menciona debido a que en la actualidad no existe la cultura de una buena comunicación en planta lo que ocasiona problemas.

También es importante motivar al personal a la búsqueda de la lubricación de los ejes de las guías para que estas no se atasquen con escoria y por la emanación del ácido en el ambiente y provoquen un aumento en el coeficiente de fricción aumentando la ruptura como efecto indeseable. Al tener una línea más estable, se tiene un efecto en cadena que permitirá realizar actividades de

prevención como el seguimiento del direccionamiento de los hilos en proceso, la lectura de parámetros de temperatura, velocidad, presión de aire comprimido, presión de las bombas en el sistema de recirculación de ácido, consumo de bunker por hora y una inspección visual de la flama dentro del horno, de la materia prima y del producto terminado.

Estas son actividades que podrían ser realizadas por el grupo de operadores de la línea, si esta fuera estable y existiera la cultura de contribuir a su control.

5.5. Reducciones en las interrupciones por cambio de ácido clorhídrico

Se define esta interrupción como un paro programado en la línea de galvanización, para poder producir alambre de primera es necesario tener una mezcla reactiva con un nivel aceptable en el tanque de ácido, esto con la intención de limpiarlo de manera correcta para ofrecer un grosor adecuado de recubrimiento. Cuando se efectúa esta operación existe la necesidad de detener la línea hasta 45 minutos, tiempo necesario para verter el nuevo contenido de ácido en el tanque, durante este período se dejan de producir entre 120 y 150 kilogramos de producto terminado.

Adicional el inconveniente de la merma del arranque y el paro, el aumento en el riesgo del personal operativo, pues prácticamente hay que voltear los toneles buscando una posición en donde el montacargas pueda vaciar el contenido, donde puede existir salpicaduras del ácido e incluso caída del mismo tonel desde la tarima todo esto se evita con el nuevo sistema de recirculación del ácido se minimiza la cantidad de ácido utilizado en la semana, y la forma para poder reactivar la mezcla es por medio de una bomba la cual agregada a un sistema de filtrado para ser más amigable con el medio ambiente evita

también el riesgo en las personas, a continuación se muestran los siguientes datos para poder darle un seguimiento más adecuado al sistema.

Tabla XVI. **Beneficios del sistema de transferencia de ácido en el proceso**

Tipo de Sistema	Tiempo de paro en minutos	Incremento producción semanal
Sistema manual	45-60	0%
Sistema semiautomático	0	1%

Fuente: elaboración propia.

Este valor es alcanzado cuando se obtiene un incremento en la línea de producción de hasta 157 kilogramos por hora lo que equivale a 4,7 % de aumento en la productividad.

5.5.1. Continuidad y reducción de costos en el proceso

Lo que se quiere evidenciar en esta sección es que los costos no se incrementarán esto debido a que la gerencia consiente de reducir los gastos para la mejora impulsa el concepto de traslado entre sucursales, esto debido a que existe equipo que puede ser donado a que está en desuso entonces en el caso de la bomba de recirculación la tubería, el motovariador, la grasa para lubricar ejes se consideran traslados y de alguna forma no son gastos directos para poder darle la continuidad y el acompañamiento al proceso.

Por otro lado la reducción de costos en el proceso de alambre galvanizado se obtendrá de los siguientes factores, a partir de ya no utilizar los dos toneles de ácido clorhídrico adicionales a la semana, lo que representa una reducción de por lo menos 4 al mes a un costo de Q 16 000,00 de reducción, al retornar el proceso a control se evitan una serie de rupturas las cuales reducirán mermas y la calidad del recubrimiento del alambre.

5.5.2. Mejoramiento de la calidad del producto terminado

Debido a todo lo expuesto la calidad del producto es medida por inspección visual, por el ensayo de la prueba de decapado y por los reclamos establecidos por el cliente final en el caso del alambre galvanizado y en los procesos subsiguientes en forma de reclamo interno, pues el dejar grumos, partes sin recubrir o palidez del alambre provocan problemas en esas secciones.

Es importante señalar también los aspectos de las propiedades mecánicas como la ductilidad, mucho de la raíz de este problema proviene de un recalentado de forma incorrecta y este con sobrecalentamiento o con una temperatura más baja de lo que dicta el protocolo de producción, también se tiene una baja calidad cuando el alambre no es limpiado de forma adecuada.

Vale la pena mencionar que la prueba de decapado tiene dos finalidades la primera es comprobar que el ácido está activo y con acción detergente y que con una cuantificación de entre 5 y 8 minutos se desprende la capa de zinc.

Afortunadamente cada una de las propuestas de mejoramiento fueron exitosas en el ensayo de decapado para el alambre galvanizado calibre número 12.

5.6. Aumento de la productividad del proceso debido al mejoramiento del sistema de velocidad de la enrolladora

Se demuestra que incrementando la velocidad del proceso afecta de forma proporcional la cantidad de producto terminado, permitiendo reducir el tiempo de entrega de los lotes de producción sin sacrificar la calidad del mismo o aumentando el nivel de riesgo en la operación, sentándose un precedente y un punto de partida para estudios posteriores que no solo involucren al diámetro del alambre en análisis, sino que pueda utilizarse como base para todos los diámetros y presentaciones que son trabajadas como piezas de inmersión en caliente en baño de zinc.

Estos valores son diseñados para un alambre acerado grado 1006 clasificado como dúctil debido a que el 10 indica es que es un acero y el dígito 06 es el grado de carbono presente en la composición metalúrgica, si el número es mayor el también será más duro por ejemplo un 1008 es más duro y este se utiliza para clavos de alta resistencia al impacto, este tipo de aceros más duros se les puede imponer una velocidad más alta pues es más difícil ocasionar una ruptura en ellos.

Al igual los calibres más gruesos como el 11, 10, 09 y 08 se le pueden imponer valores de velocidad más altos, cualquier nuevo parámetro de velocidad es tomado en cuenta si se cumple con las propiedades mecánicas representadas en la gráfica esfuerzo deformación, curva que muestra el comportamiento del acero desde la zona elástica hasta la inelástica la zona de fluencia y llegar a su punto de ruptura, buscando que el alambre tenga un valor de maleabilidad alto el punto de ruptura debe de estar lo más alejado posible, las aplicaciones de este alambre son a la intemperie donde su única protección es un recubrimiento adecuado del alambre.

5.7. Optimización de los parámetros de velocidad

En cuanto a demostrar que es posible incrementar la velocidad del proceso, parámetro directamente proporcional a la cantidad del producto terminado esto sin descuidar la calidad del mismo, y tampoco ocasionando riesgo en la operación en cuanto a las personas que atienden el proceso, con una velocidad óptima se podrá recubrir y de esta forma hacer que la presentación de alambre resista los condiciones extremas que puede alcanzar en la intemperie del país, puede ser este utilizado como cerca en Zacapa o en Quetzaltenango, contando como única protección un recubrimiento adecuado del alambre.

5.8. Mejora en los arranques y paros de la línea

Con un nuevo sistema electrónico, el cual proporciona mayor sensibilidad a los cambios de velocidad en las enrolladoras se obtiene un arranque y paro más suave en los motores eléctricos, el efecto del torque es manifestando en forma de rampa lo cual hace que el alambre no se rompa, a diferencia del sistema anterior donde la fuerza en el arranque no se podía variar, eléctricamente se conoce como un efecto en cascada con una pendiente suave que lleva a un valor de 21,5 Hertz, esta práctica trabaja en dos sentidos tanto en el arranque como en los paros, adicionalmente en el tiempo de descargo y embalaje de la línea cuando se está empacando el producto terminado.

CONCLUSIONES

1. El incremento de la productividad es demostrado, utilizando el concepto básico de la razón de producto terminado sobre el aprovechamiento de los insumos utilizados en el proceso, lo que permite contar con este recurso y como una poderosa herramienta de análisis de ingeniería.
2. Se evidencia que un proceso que cuenta con un nivel aceptable de consumo en el mercado, con autosostenimiento y rentabilidad merece cualquier esfuerzo que conlleve al mejoramiento del mismo, citando este caso como un ejemplo, en el cuál incrementando la cantidad de producto terminado y reduciendo los insumos se logra un aumento en el nivel de la productividad.
3. Se demuestra que aumentando el valor en el parámetro velocidad se puede aumentar la producción, reduciendo los tiempos de entrega no sacrificando la calidad en el producto y tampoco se expone al personal operativo a mayores riesgos de accidentes .
4. Los efectos beneficiosos del cambio de ciertas partes del equipo utilizando ingeniería, demuestra que al actualizar los mecanismos la inversión inicial logra llevar al proceso a mejores niveles de producción y por consiguiente una mejor rentabilidad.
5. La inversión no es reflejada únicamente en cuanto al cambio de maquinaria y equipo de ingeniería, también hay que verla como en el tiempo que hay que dedicarle al análisis de procedimientos que permitan

una estabilidad en el proceso y la capacitación que es necesaria para el entendimiento de la misma.

6. Las interrupciones son dañinas para cualquier proceso, por lo que es necesario reducirlas al máximo ya que castigan los indicadores así como también la calidad del producto.

RECOMENDACIONES

1. Una evaluación a conciencia de las nuevas tendencias de flamas carburantes en la industria siderúrgica, para la optimización del consumo del bunker en los quemadores o muflas es de relevancia debido a que eso ayudaría menormente en el consumo de este carburante que incrementa el costo de producción del alambre.
2. Los nuevos sistemas de regulación de temperatura industriales basados en controladores electrónicos, que utilizan un sistema de actuadores mediante las termocoplas y un convertidor de señales análogas en digitales como lo son los controladores de temperatura o pirómetros son de uso común en la industria siderúrgica, los cuales representan una inversión inicial, que ayudarían a proteger el horno construido con ladrillo refractario.
3. El aprovechamiento de los recursos es necesario en cualquier faceta de la vida lo que conlleva a la búsqueda continua de la reducción de los mismos como en el caso del consumo del bunker, el ácido clorhídrico, el amonio y la energía eléctrica, vale entonces cualquier esfuerzo que busque este objetivo.
4. La necesidad de recirculación del ácido clorhídrico es latente por lo que cualquier análisis que contribuya a su mejoramiento es válido, así el diseño y análisis de sistema de automatización que logren un incremento en la vida útil del ácido y haga un proceso más controlado y seguro tiene una relevancia preponderante.

5. Aprovechar el recurso humano del proceso y el nivel bajo que tiene en cuanto al factor de rotación de personal como algo beneficioso, que puede dar base a una serie de capacitaciones de concientización del aprovechamiento de los recursos y que conlleven a poder hacer más rentable el proceso.

BIBLIOGRAFÍA

1. BELTRAN, Jaime. *Guía para gestión basada en procesos*. España: Berekintza, 2000. 140 p.
2. FUKUY, Ryu. *Manual de la administración de la calidad total*. México: Gilbert, 2003. 174 p.
3. KELLY, Michael. *Manufactura para solución de problemas*. México D.F.: Panorama, 1993. 89 p.
4. NIEBEL, Ben. *Métodos estándares y diseño de trabajo*. México D.F.: Alfaomega, 1988. 752 p.
5. RODRÍGUEZ, Carlos. *Guía para manejo de indicadores de gestión*. Colombia: Sigma, 2008. 21 p.