



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO COMO HERRAMIENTA DE  
MANTENIMIENTO PARA LAS TECNOLOGÍAS DE APORTE DE CARBURO DE  
TUNGSTENO EN ACERO A-36 PARA MARTILLOS DE DESFIBRADORA EN UN INGENIO**

**Braulio Estuardo Malchic Pérez**

Asesorado por el M.A. Ing. Alan Henry Arfaxad Camajá Tum

Guatemala, mayo de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO COMO HERRAMIENTA DE  
MANTENIMIENTO PARA LAS TECNOLOGÍAS DE APORTE DE CARBURO DE  
TUNGSTENO EN ACERO A-36 PARA MARTILLOS DE DESFIBRADORA EN UN INGENIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**BRAULIO ESTUARDO MALCHIC PÉREZ**

ASESORADO POR EL M.A. ING. ALAN HENRY ARFAXAD CAMAJÁ TUM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, MAYO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

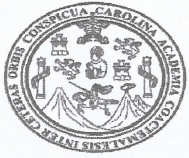
## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO COMO HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO PARA LAS TECNOLOGÍAS DE APORTE DE CARBURO DE TUNGSTENO EN ACERO A-36 PARA MARTILLOS DE DESFIBRADORA EN UN INGENIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 6 de noviembre de 2022.

**Braulio Estuardo Malchic Pérez**



**EEPFI-PP-1542-2022**

Guatemala, 6 de noviembre de 2022

**Director**  
**Armando Alonso Rivera Carrillo**  
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica  
Presente.

**Estimado Ing. Rivera**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO COMO HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO PARA LAS TECNOLOGÍAS DE APORTE DE CARBURO DE TUNGSTENO EN ACERO A-36 PARA MARTILLOS DE DESFIBRADORA EN UN INGENIO**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión del Mantenimiento - Gestión financiera del mantenimiento (mantenimiento, proyectos de inversión y servicios)**, presentado por el estudiante **Braulio Estuardo Malchic Pérez** carné número **200714719**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería De Mantenimiento.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

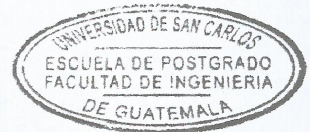
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

**Alan Henry Arfaxad Camajá Tum**  
Ingeniero Electricista  
Colegiado: 15714

Mtro. Alan Henry Arfaxad Camajá Tum  
Asesor(a)

Mtra. Rocio Carolina Medina Galindo  
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-1315-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO COMO HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO PARA LAS TECNOLOGÍAS DE APORTE DE CARBURO DE TUNGSTENO EN ACERO A-36 PARA MARTILLOS DE DESFIBRADORA EN UN INGENIO**, presentado por el estudiante universitario **Braulio Estuardo Malchic Pérez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director  
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, noviembre de 2022

Facultad de Ingeniería

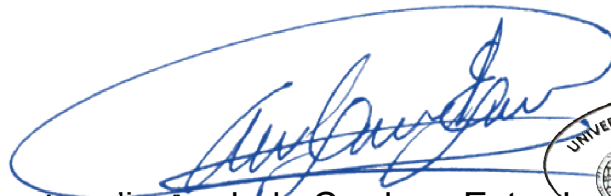
Decanato  
24189101-  
24189102

secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.476.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO COMO HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO PARA LAS TECNOLOGÍAS DE APOORTE DE CARBURO DE TUNGSTENO EN ACERO A-36 PARA MARTILLOS DE DESFIBRADORA EN UN INGENIO**, presentado por: **Braulio Estuardo Malchic Pérez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabeia Cordova Estrada

Decana



Guatemala, mayo de 2023

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por brindarme sabiduría, fortaleza y vida, por alcanzar esta meta.
<b>Mis padres</b>	Maria Luisa Pérez García y Braulio Malchic Díaz, por todo su esfuerzo, paciencia y dedicación, para alcanzar mis metas.
<b>Mis hermanos</b>	Héctor, Sandra y Sara Malchic Pérez, por su apoyo y compañía durante mi vida.
<b>Mis sobrinos</b>	Alejandra y Sofia Malchic, Aaron y Pablo Suyá, Amarillis Sánchez por su cariño, esperando ser un ejemplo para ellos en el cumplimiento de metas.
<b>Mi novia</b>	Josselyn Dayan Estrada Carrera, por todo su cariño y paciencia.
<b>Mis amigos de Facultad</b>	Eduardo Cifuentes, Pablo de la Cruz, Aldy y Andrea Gonzáles, German Chamorro, Otto Orozco, Ana Luisa Lara, Adolfo Guzmán, Lennin Fuentes (q.e.p.d.), por su amistad y apoyo.



## AGRADECIMIENTOS A:

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi <i>alma mater</i> , que me permitió nutrirme de conocimientos.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por la formación que me ha brindado para que pueda ejercer como profesional en el ámbito de la ingeniería mecánica eléctrica.
<b>Ingenio San Diego</b>	Por brindarle la oportunidad e información necesaria para realizar el presente diseño de investigación.
<b>Compañeros de labores</b>	Ing. Pavel Roulet, Inga Nelly Aguilar, Ing. David Oseida, Ing. Marvin Estrada, Miguel Vásquez, Lic. Kevin Castillo, Licda. Sandra Jolón, por su compañerismo, amistad y compartir conocimientos y experiencias
<b>Mi asesor</b>	Mtro. Ing. Alan Henry Axfarad Camajá Tum, por su atención, motivación y conocimientos durante la asesoría.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
3.1. Contexto general .....	5
3.2. Descripción del problema .....	5
3.3. Formulación del problema .....	5
3.4. Delimitación del problema .....	6
4. JUSTIFICACIÓN .....	7
5. OBJETIVOS .....	9
5.1. General.....	9
5.2. Específicos .....	9
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA SOLUCIÓN.....	11
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. El sector industrial de la caña de azúcar .....	15

7.1.1.	Proceso productivo de la caña .....	15
7.1.2.	Estación de desfibrado de la caña .....	17
7.1.2.1.	Desfibradora de trabajo liviano.....	18
7.1.2.2.	Desfibradora de trabajo pesado .....	18
7.1.3.	Recubrimientos protectores <i>hardfacing</i> .....	18
7.2.	Tipos de soldadura.....	19
7.2.1.	Soldaduras de revestimientos duros .....	20
7.2.2.	Características técnicas de revestimientos hardfacing.....	21
7.2.3.	Aceros al carbono .....	22
7.2.4.	Clasificación de los aceros al carbono .....	24
7.2.5.	Aceros con bajo contenido de carbono .....	24
7.3.	Gestión del mantenimiento.....	25
7.3.1.	Tipos de mantenimiento .....	26
7.3.1.1.	Mantenimiento correctivo .....	27
7.3.1.2.	Mantenimiento preventivo .....	27
7.3.2.	Productividad.....	28
7.3.3.	Parámetro de productividad .....	28
7.4.	Proceso de soldadura SMAW .....	29
7.4.1.	Variables principales del proceso SMAW.....	31
7.4.2.	Circuito eléctrico para la soldadura tipo SMAW .....	33
7.4.3.	Equipo para el proceso SMAW .....	34
7.5.	Proceso de soldadura GMAW.....	35
7.5.1.	Parámetros del proceso GMAW.....	36
7.5.1.1.	Corriente de la soldadura .....	37
7.5.1.2.	Polaridad .....	38
7.5.1.3.	Velocidad de desplazamiento.....	39
7.5.2.	Gases de protección .....	39
7.5.3.	Alambre para el proceso GMAW .....	41

7.6.	Importancia de los costos .....	43
7.6.1.	Clasificación de los costos.....	43
7.6.2.	Valor presente neto .....	44
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	45
9.	METODOLOGÍA.....	47
9.1.	Enfoque .....	47
9.2.	Diseño .....	47
9.3.	Alcance.....	47
9.4.	Población de análisis.....	48
9.5.	Variables.....	48
9.6.	Fases del estudio .....	49
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	51
11.	CRONOGRAMA.....	53
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	55
13.	REFERENCIAS.....	57
14.	APÉNDICES.....	61
15.	ANEXO.....	67



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema solución .....	13
2.	Diagrama de proceso .....	16
3.	Procesos recomendados para la fusión de metales.....	20
4.	Dureza y su correlación con el desgaste.....	21
5.	Clasificación del acero en relación con su contenido de carbono .....	24
6.	Proceso de soldadura SMAW .....	31
7.	Curva de voltaje y corriente de fuentes de potencia .....	32
8.	Principales elementos eléctricos de una fuente .....	33
9.	Equipo para el proceso de soldadura SMAW.....	34
10.	Proceso de soldadura GMAW.....	36
11.	Patrones de corrientes y velocidad de alimentación .....	38
12.	Clasificación de gas protector .....	40
13.	Perfil del cordón de penetración según el gas a utilizar .....	41

### TABLAS

I.	Propiedades del acero A-36.....	23
II.	Definiciones de los términos eficiencia y eficacia.....	29
III.	Clasificación AWS de electrodos de soldadura GMAW .....	42
IV.	Operativización de variables .....	49
V.	Cronograma de actividades .....	53
VI.	Estimación de recursos .....	56



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>Ar</b>	Argón
<b>AC</b>	Corriente alterna
<b>Cr</b>	Cromo
<b>Ø</b>	Diámetro
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>HRC</b>	Escala C de dureza Rockwell
<b>in/min-A</b>	Pulgada sobre minuto amperios
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>m</b>	Metro
<b>m/s</b>	Metro sobre segundo
<b>mm</b>	Milímetro
<b>mm/s-A</b>	Milímetro sobre segundo amperios
<b>r.p.m</b>	Revoluciones por minuto
<b>s</b>	Segundo
<b>S<sup>-1</sup>A<sup>-2</sup></b>	Hertz sobre amperios al cuadrado
<b>Ton</b>	Tonelada
<b>V</b>	Voltio





## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	Se refiere a la acción mecánica de frotar o desgastar por fricción.
<b>ASME</b>	Siglas de <i>American Society of Mechanical Engineers</i> . Referente a la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
<b>AWS</b>	Siglas de <i>American Welding Society</i> . Referente a la Sociedad Americana de Soldadura.
<b>Corrosión</b>	Deterioro de una superficie o material, como resultado de un ataque electroquímico de su entorno.
<b>Costo</b>	Cantidad en la que se incurre para la fabricación de un producto.
<b>Desfibradora</b>	Equipo utilizado para desintegrar la materia prima, reducir su tamaño e incrementar su densidad.
<b>Desgaste</b>	Término relacionado a la interacción entre superficies y generalmente se produce un daño superficial progresivo como resultado.

<b>DMAIC</b>	Siglas de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar; herramientas para potenciar la mejora continua.
<b>Eficacia</b>	Es el cumplimiento de un objetivo o la materialización de un propósito.
<b>Eficiencia</b>	Capacidad de lograr lo que se desea utilizando la menor cantidad de bienes y un máximo beneficio.
<b>GMAW</b>	Siglas de <i>Gas Metal Arc Welding</i> . Proceso en el que el calor necesario para la ejecución de la soldadura es suministrado por un arco eléctrico que se mantiene entre la pieza a soldar y el hilo-electrodo.
<b>IOT</b>	Se refiere a la red colectiva de dispositivos conectados y a la tecnología que facilita la comunicación entre los dispositivos y la nube, así como entre los propios dispositivos.
<b>Máquina</b>	Se designa así, al conjunto de elementos capaz de aprovechar, transformar o realizar un trabajo con un fin determinado.
<b>Martillo</b>	Se refiere al elemento que se utiliza para impactar con otro cuerpo directamente, causando su desplazamiento o cambio de forma.

<b>MIG</b>	Siglas de <i>Metal Inert Gas</i> . Proceso de soldadura por arco con electrodo consumible y bajo la acción de un gas protector inerte que no participa en el proceso de soldadura.
<b>Productividad</b>	Es la relación entre la producción obtenida por un proceso y la cantidad de recursos o trabajo empleado.
<b>SMAW</b>	Siglas de <i>Shielded Metal Arc Welding</i> . Proceso de unir dos metales mediante una fusión localizada, producida por un arco eléctrico.
<b>Soldadura</b>	Es el proceso de unir dos o más piezas de un material metálico o termoplástico



## RESUMEN

En un ingenio de Guatemala, se identifica una baja eficiencia en la deposición de soldadura en martillos para desfibradora, que repercute en el desempeño de los soldadores para fabricación de martillos, en los costos de mantenimiento y en el proceso mismo de preparación de caña.

La incorrecta selección de tecnología para deposición de material de aporte, el costo de adquisición del equipo existente y la demanda de soldadura para la capacidad instalada, influyen en la eficiencia de deposición de soldadura que generan mayor costo de mano de obra para fabricación de repuestos y retraso en las actividades de mantenimiento.

Los martillos, son piezas que poseen características y propiedades con alto potencial de afectar el funcionamiento de una desfibradora, por ser parte integral de su configuración. La forma y material de los martillos son factores importantes para el funcionamiento óptimo de este tipo de maquinaria, razón por la cual, se hace necesario establecer la mejor tecnología al menor costo, incursionando en el aporte del carburo de tungsteno a los martillos, con los que se abre las células que contienen el jugo de la caña para facilitar el proceso de molienda.

Para mejorar la gestión del mantenimiento y los costos en los que se incurre, es indispensable proponer acciones, en cuanto a la tecnología del equipo de soldadura y el tipo de material a utilizar, que contribuyan a tal fin.

Para la toma de datos en campo, se establecen formatos, con los cuales se pueda crear un registro de los parámetros de soldadura, como el diámetro y longitud del electrodo, polaridad, voltaje, intensidad de corriente, velocidad de aplicación, peso del material consumido y el depositado, peso de las colillas, número de pases, tiempo de finalización, tiempo de arco y tiempos muertos; además del número de piezas planificadas y realizadas, así como los tiempos empleados para ello.

# 1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación, se enfoca en el emprendimiento del proceso de mantenimiento de martillos en acero A-36, como material base y la aplicación de recubrimientos de carburos de tungsteno, para desfibrador de caña de tipo pesado en la industria azucarera, con el objetivo de la optimización del mantenimiento y costos por medio de la mejora en el proceso de soldadura, sustituyendo el de tipo de arco eléctrico denominado SMAW, por un proceso de aplicación continuo de material de aporte de tipo arco, con gas protector más conocido como GMAW.

El problema por solucionar es la baja eficiencia de deposición de soldadura de carburo de tungsteno en martillos para desfibrador en un ingenio, que afecta el desempeño de los soldadores para fabricación de martillos. Dicho problema ocurre desde el año 2000, con la adquisición de equipos que poseen la tecnología incorrecta.

El mayor aporte de la propuesta está referido en establecer la mejor tecnología, que brinde menor costo en la gestión de las actividades de mantenimiento con el aporte de carburo de tungsteno y maximizar la productividad del personal de soldadura para la fabricación de martillos en un ingenio. Además, se pueda generar bienestar, nuevas competencias al personal y lograr que la organización pueda ser más competitiva y rentable.

El análisis de productividad y evaluación de costos de producción de ambas tecnologías, es de utilidad para la gestión del mantenimiento, además, permite establecer la tecnología adecuada para reducir los desperdicios,



tiempos improductivos y el tiempo necesario para las actividades de acondicionamiento con soldadura para martillos de desfibradora.

En definitiva, se espera que la adecuada selección del proceso de soldadura, aporte mayor tasa de deposición para revestimiento de superficies de acero A-36 con carburo de tungsteno, permita optimizar los recursos e incrementar los beneficios de una buena gestión.

La elaboración de la investigación es factible ya que, se dispone de información documental y el respaldo de la empresa, para la elaboración del análisis, disposición de recursos y la determinación de resultados.

El informe final de investigación estará conformado por 4 capítulos. El capítulo I corresponde al marco teórico, en donde se detalla los parámetros de operación de las tecnologías de soldaduras en análisis, la gestión de mantenimiento y productividad; así como, una reseña del proceso productivo de la caña de azúcar en Guatemala; el capítulo II contiene el desarrollo de la investigación, describiendo las actividades a realizar; en el capítulo III, se presentan los resultados obtenidos; mientras que en el capítulo IV, se discuten dichos resultados exponiendo el aporte de la investigación en la solución de la problemática planteada.

## 2. ANTECEDENTES

Al presentar una herramienta de mantenimiento para las tecnologías de aporte de carburo de tungsteno, en acero A-36 para martillos de desfibradora de un ingenio, es conveniente el análisis de estudios similares que aporten herramientas, técnicas o simples ideas, que permitan abordar la problemática planteada, ampliando los conocimientos en el área de aplicación.

Torres (2017) realizó una propuesta con nombre *Efecto de la tecnología de recubrimiento con carburo de tungsteno sobre costos de mantenimiento en desfibramiento de caña azucarera*. A través de la observación directa y análisis histórico de la información documental de los costos que impactan el mantenimiento, determinó que el costo concluyente para el análisis es el costo de tiempo improductivo. El aporte metodológico, es la medición de costos utilizado en el revestimiento tradicional y el recubrimiento alternativo, para contribuir en la optimización de costos e incrementar la vida útil de los componentes.

Por su parte, Álava (2015) estudió un aspecto importante asociado a la mejora de utilización de las tecnologías de soldadura SMAW y GMAW, en una planta de fabricación de estructuras metálicas. Mediante la identificación de restricciones, en función de factores que impiden que la compañía alcance sus objetivos. Para ello, determinó que el proceso GMAW, reduce los costos por desperdicios, movimientos y los tiempos que conlleva cambiar el electrodo. El aporte metodológico se centra en la evaluación del plan de inversión y financiamiento, para reducir costos innecesarios, mediante el factor de la tasa interna de retorno, valor actual neto y el análisis beneficio/costo.

Mazuera, Suárez y Giraldo. (2011), llevó a cabo un estudio para determinar la productividad y utilizar procedimientos WPS. Para ello, realizó el análisis de la medición de peso del material de aporte consumido, tiempo de fabricación, consumo de energía y consumo del gas utilizado en el proceso. Se observó que el proceso GMAW automático, tiende a ser más eficiente que la utilizada por el proceso SMAW. El aporte metodológico se centra en el establecimiento de indicadores, la eficiencia y la razón de deposición a través de la experimentación en placas de acero en posición plana.

García (2009), por su parte, abordó la optimización de los parámetros del proceso GMAW. Su investigación consistió en medir la penetración, en cierta cantidad de muestras de ensayo de macroataque, de acuerdo con la norma ASTM E45. De acuerdo con los resultados del análisis y experimentación, determinó que la variable de mayor influencia en la penetración es el amperaje. El aporte metodológico en este caso es la preparación de muestras y optimización, para obtener un desempeño deseado en los procesos.

Pereda (2018), investigó sobre la medición de la productividad, a través del uso de la metodología *Six Sigma* para el proceso de soldadura. Para ello, utilizó la herramienta DMAIC, con la finalidad de mejorar la productividad. El aporte metodológico es el estudio estadístico de la producción real, a través de las piezas estimadas, horas estimadas y piezas producidas, midiendo la eficacia, producción real y la producción esperada.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Contexto general**

La desfibradora, es una máquina utilizada en los ingenios para desfibrar la caña sin extraer el jugo, utilizando para ello martillos suspendidos en un eje que golpean la caña, que pasa sobre una superficie plana corrugada, para triturarla previo a la molienda. El desgaste en esas piezas es común, debido a su función y tiempo de uso, por lo que conviene la investigación, de métodos, técnicas y materiales que prolonguen la vida útil, disminuyendo los costos de mantenimiento.

#### **3.2. Descripción del problema**

El problema es la baja eficiencia en la deposición de soldadura, de carburo de tungsteno en martillos para desfibradora en un ingenio, que afecta el desempeño de los soldadores para fabricación de martillos. El problema ocurre desde el año 2000, con la adquisición de equipos con la tecnología incorrecta. El departamento no cuenta con equipos, para mejorar la eficiencia de aportación de soldadura de carburo de tungsteno.

#### **3.3. Formulación del problema**

Para el presente diseño de investigación, centrado en el análisis económico como herramienta de mantenimiento, para las tecnologías de aporte de carburo de tungsteno en acero A-36, para martillos de desfibradora en un ingenio, se formularon las siguientes preguntas de investigación.

- **Pregunta central**

¿Qué análisis económico se puede desarrollar para identificar la tecnología adecuada de aportación de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillo de desfibadora en un ingenio?

- **Preguntas auxiliares**

- ¿Cuál es la eficiencia y costos de fabricación del proceso de soldadura SMAW para aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibadora en un ingenio?
- ¿Cuál es la eficiencia y costos de fabricación del proceso de soldadura GMAW para aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibadora en un ingenio?
- ¿Cuál es la solución económica y productiva para la aplicación de aporte de carburo de tungsteno en martillos de desfibadora en un ingenio que contribuyan a la gestión de mantenimiento?

### **3.4. Delimitación del problema**

El trabajo de investigación se ha de realizar en el Departamento de Mantenimiento de un ingenio ubicado en Guatemala, durante seis meses; utilizando la maquinaria, equipo, herramientas y materiales de la empresa, considerando tiempo adicional, para el procesamiento de la información el cual, puede realizarse fuera de las instalaciones del ingenio.

## 4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo pertenece a la línea de investigación del área de administración del mantenimiento. La propuesta es importante para la gestión del mantenimiento y los procesos de soldadura que contribuirán en la productividad de la organización, puesto que se tiene tiempos improductivos y desperdicios de material de aporte de carburo de tungsteno de alto costo. Esto ha creado reducción del número de componentes a fabricar, e incumplimiento con los tiempos establecidos, acorde a la programación de mantenimiento; repercutiendo en el personal, debido a la exposición a temperaturas altas, de algunos componentes del equipo utilizado en aplicación de material de aporte.

El desarrollo de la investigación pretende obtener un análisis económico, que contribuya a la gestión de mantenimiento, para la evaluación de las tecnologías de aporte de carburo de tungsteno en acero A-36, para martillos de desfibradora en un ingenio. Se espera que dicha implementación, contribuya en la reducción de costos de mantenimiento y a la productividad de los usuarios, que desarrollan el aporte por medio de soldadura, para que, con ello, se tomen decisiones acertadas en la sección de tecnología, a fin de hacerla más productiva y rentable en la fabricación de martillos.

El mayor aporte está referido en establecer la mejor tecnología, que brinde menor costo en la gestión de las actividades de mantenimiento, para el aporte de carburo de tungsteno y maximizar la productividad del personal de soldadura, para la fabricación de martillos en un ingenio. Además, se pueda generar bienestar, nuevas competencias al personal y lograr que la organización pueda ser más competitiva y rentable.



## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Realizar un análisis económico comparativo de tecnología de soldadura SMAW Y GMAW, utilizados en el aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibradora en un ingenio.

### **5.2. Específicos**

1. Determinar la eficiencia de fabricación del proceso de soldadura SMAW para aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibradora en un ingenio.
2. Determinar la eficiencia de fabricación del proceso de soldadura GMAW para aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibradora en un ingenio.
3. Comparar la eficiencia del proceso SMAW y GMAW para aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibradora en un ingenio que contribuyan en la gestión del mantenimiento.





## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA SOLUCIÓN**

El proceso de soldadura es parte importante en el desarrollo de las actividades de mantenimiento en el ingenio, para la fabricación de sus componentes utilizados en el proceso de transformación de la caña de azúcar.

Debido a que los gastos generales totales generados para la actividad de soldadura en la fabricación de martillos de desfibradora también ofrecen una oportunidad para la disminución de los costos en la gestión de mantenimiento planificado. Básicamente cambiar de soldadura, por arco metálico sumergido (SMAW) a soldadura por arco eléctrico y material de relleno alimentado continuamente (GMAW), puede disminuir los gastos e incrementar la productividad en la gestión del mantenimiento planificado de la organización.

La finalidad del análisis de productividad y evaluación de costos de producción de ambas tecnologías será de utilidad para la gestión del mantenimiento, además de establecer la tecnología adecuada para reducir los desperdicios, tiempos improductivos y el tiempo necesario para las actividades de acondicionamiento con soldadura para martillos de desfibradora.

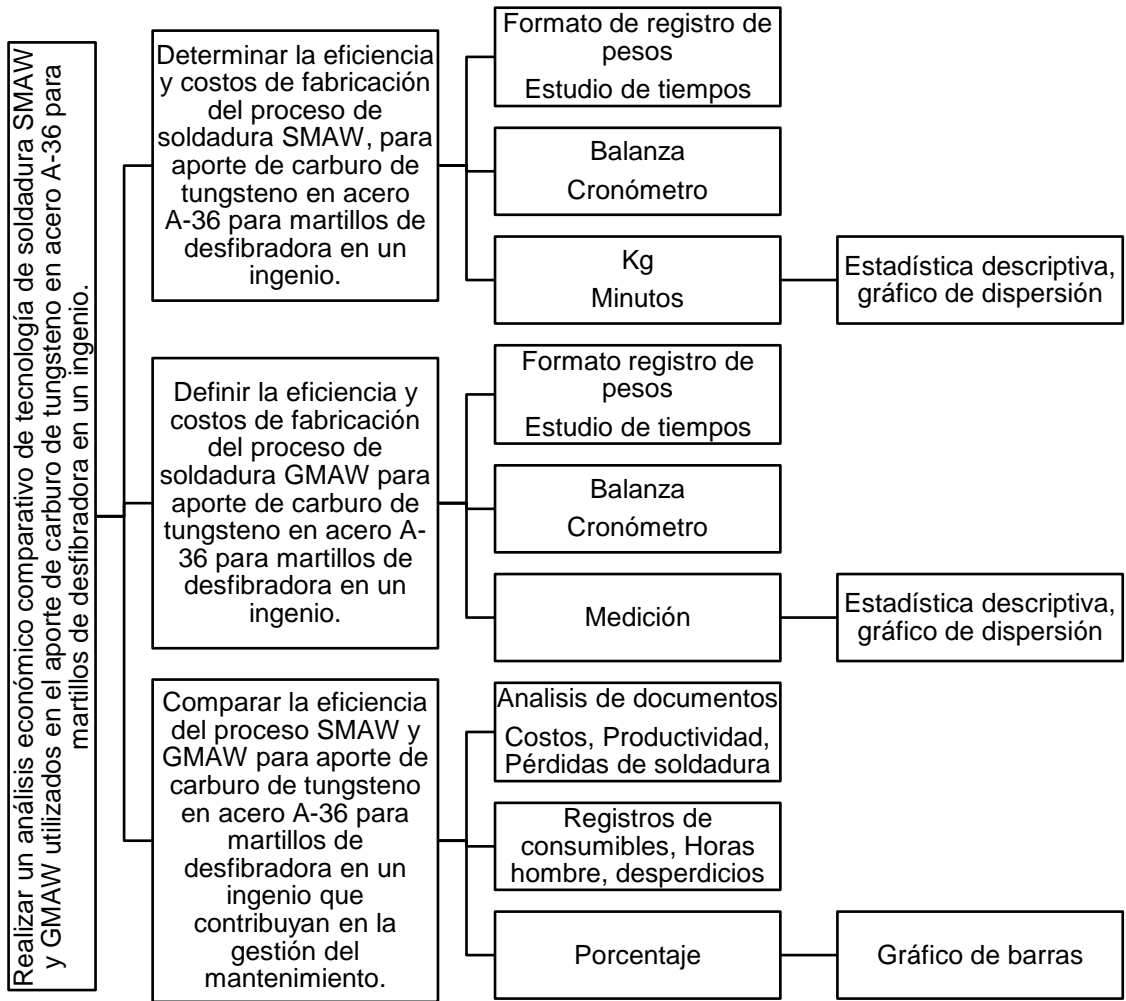
Hasta la fecha, en la industria azucarera, el proceso de soldadura más utilizado es el SMAW para la fabricación y acondicionamiento de componentes, tales como los martillos de desfibradora. Debido a que los electrodos son los que aportan el flujo de metal fundido hacia la pieza, será necesario reponerlos cuando se consuman y por tal motivo, el proceso de soldadura con electrodo revestido no favorece para su automatización o semi automatización, siendo así su aplicación, fundamentalmente manual.

Actualmente el proceso de soldadura GMAW, puede representar una mejora sustancialmente en la gestión del mantenimiento, para incrementar la productividad y reducir costos por tiempos improductivos, además de mitigar los existentes problemas generados en el área de mantenimiento en el incumplimiento de planes de fabricación de martillos, de desfibradora a través del aporte de carburo de tungsteno en acero A-36.

El análisis económico por desarrollarse en el presente trabajo de investigación tendrá como objetivo evaluar la utilización de la tecnología GMAW, como proceso alternativo de soldadura para contribuir en la justificación económica, conseguir la reducción de costos, menos uso de consumibles, disminución de horas hombre y a su vez, tiempos improductivos producidos por el intercambio de electrodos de soldadura para el actual proceso SMAW.

En la siguiente figura, se presenta el esquema solución congruente a la problemática identificada, que se constituye como el objeto de investigación.

Figura 1. Esquema solución



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.



## **7. MARCO TEÓRICO**

En el diseño de investigación propuesto, se contemplan diversos conceptos, definiciones y métodos que se exponen como parte del marco teórico; iniciando con una pequeña reseña del proceso productivo de la caña de azúcar en Guatemala, para entrar en contexto.

### **7.1. El sector industrial de la caña de azúcar**

Tal como lo menciona la Sociedad de Azucareros de Guatemala, en su página (Azúcar de Guatemala, 2022), la agroindustria azucarera arrancó en Guatemala a principios de los años sesenta y al presente, se encuentran aún 11 plantas o ingenios en operación, la mayoría de ellos concentrándose en la región sur del pacífico del país.

Guatemala actualmente es el tercer productor de azúcar en América Latina, al ser parte vital del desarrollo de la zona mediante la diversificación de sus subproductos como el alcohol, energía y la melaza. La materia prima para la producción de azúcar se cultiva en unas 258,025 hectáreas, con una productividad de 107 toneladas por hectárea y ha alcanzado los 2.76 millones de toneladas en el período 21-22, esto señala el centro de investigación de la caña CENGICAÑA (2022).

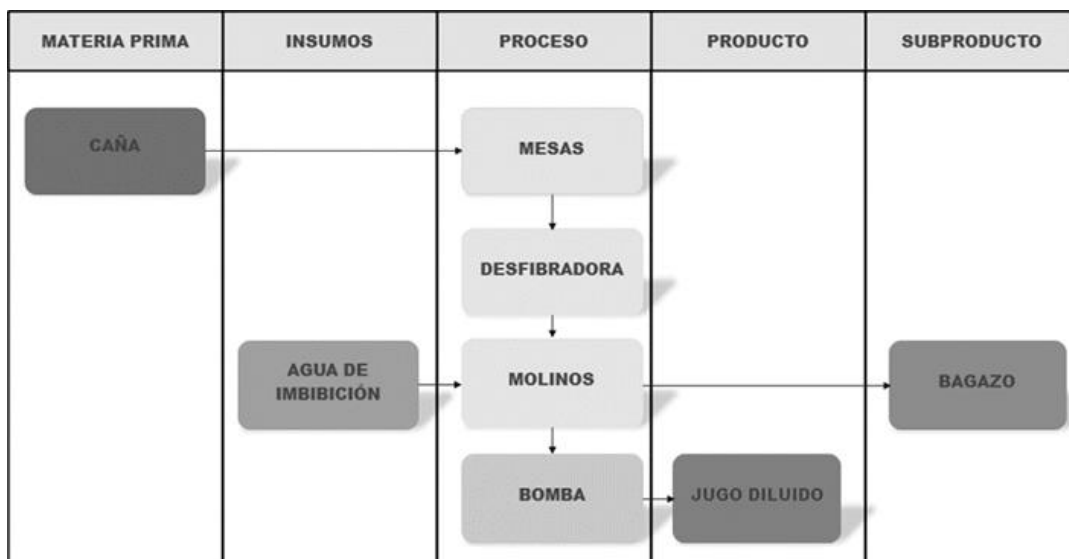
#### **7.1.1. Proceso productivo de la caña**

La transformación de la materia prima y la producción industrial del azúcar se comprende de una serie de subprocesos.

La materia prima es transportada desde el campo hacia la fábrica, en donde ingresa a una etapa de pesaje, para su posterior análisis de calidad y rendimiento, que, al ser aprobada, pasa a conductores de arrastre del ancho de las jaulas que luego se envía a una etapa de preparación donde cambia de densidad a través del desmenuzado mediante una serie de picadoras y desfibradora. Ya desmenuzada, entra en la etapa de compactación y la correspondiente extracción se logra mediante un tren de cinco molinos, pasando por los siguientes procesos: clarificación de jugo, evaporación, cristalización, centrifugación, secado y envasado Chen (1991).

Se presenta a continuación un diagrama de proceso correspondiente a la primera etapa de transformación en el que se tomará como relevancia, a la desfibradora de caña y cuyos componentes son sometidos a altas tasas de desgastes por impacto.

Figura 2. **Diagrama de proceso**



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

### **7.1.2. Estación de desfibrado de la caña**

En esta etapa del proceso de transformación de la materia prima, ésta es llevada a una serie de equipos cuya finalidad es aumentar la densidad, a través de su correspondiente preparación y desmenuzado.

Los equipos utilizados en esta estación son de relevancia de acuerdo a su diseño, la geometría y peso de los componentes de reemplazo, tales como los martillos, que son los que se encarga de propiciar un índice que relaciona que tan eficiente fue la preparación y la cantidad de celdas abiertas de la caña desmenuzada.

Lo anterior ayuda a la siguiente etapa en la reducción de potencia en los molinos, logrando una mejora en la eficiencia de extracción, además de la reducción de las pérdidas en bagazo. La preparación de caña puede llevarse a cabo de varias formas y tener resultados diversos, en los que algunos son mejores que otros; entre esas se encuentran:

- Mediante cuchillas oscilantes que cortan la caña en piezas de menor tamaño, pero no extraen jugo.
- Con desfibradoras que reducen las cañas a tiras, de tipo horizontal o vertical.
- A través de la utilización combinada de ambas tecnologías para lograr una mayor eficiencia.



### **7.1.2.1. Desfibradora de trabajo liviano**

Surge alrededor de los años sesenta, se identifican dos tipos de desfibradora de trabajo liviano, diferenciadas por el peso de sus martillos. La Searby, conformada por martillos de 2 hasta 3 kg; mientras que el modelo Gruendler estaba conformada por martillos de 6 hasta 7 kg, según lo indica Rein (2012).

Ambas máquinas operaban a 960 r.p.m., con un diámetro de acción de los martillos de 1,520 mm, como resultante una velocidad tangencial de 76 m/s. En la actualidad en los ingenios de Guatemala, este tipo de tecnología ya no se utiliza.

### **7.1.2.2. Desfibradora de trabajo pesado**

Entre estas desfibradoras se encuentran las de tipo Walkers, que poseen martillos basculantes, que fueron desarrolladas en Hawái. Actualmente, este tipo de desfibradoras superan el 1.53 m hasta 1.83 m de diámetro, utilizando martillos desde los 15 kg y que rotan hasta 1,200 r.p.m. Para el caso de las desfibradoras del tipo Tongaat, desarrolladas en Sudáfrica, típicamente utilizan un juego de 160 martillos, con un peso de 20 kg según Chen (1991).

### **7.1.3. Recubrimientos protectores *hardfacing***

El término *hardfacing*, se refiere a un proceso para revestimiento duro, que consiste en aplicar a cierta superficie, un recubrimiento de un material de mayor dureza, medido en HRC, el cual por lo regular puede ser de cromo o de tungsteno.

Es una aplicación para la reconstrucción o protección de superficie, utilizado en la agroindustria para proteger los aceros que sean sometidos al desgaste y cuya finalidad, es extender la vida útil de dichos componentes de acuerdo con las condiciones de trabajo.

Este tipo de proceso de protección o blindaje, es muy utilizado en el mantenimiento de partes de sacrificio, utilizados en las desfibradoras de caña del tipo pesado, específicamente en los partillos para la protección de las áreas, que estarán sometidos a impactos continuos por material extraño proveniente en la materia prima; así como, al ataque corrosivo del jugo como abrasivo de la tierra, que normalmente posee la caña al momento de ser procesada durante su proceso de transformación en la fabricación de azúcar.

## **7.2. Tipos de soldadura**

De conformidad con el manual de soldadura expuesto por la Sociedad Americana de Soldadura (1996), las uniones por fusión del metal base se pueden realizar con cualquier proceso. A continuación, se describen algunos de los tipos de soldadura más empleados en la industria:

- SMAW: proceso de soldadura por arco de metal protegido.
- SAW: proceso de soldadura automático y de alta productividad como el arco sumergido.
- GTAW: proceso conocido como soldadura por arco tungsteno y gas
- GMAW: proceso de soldadura por arco metal continuo y gas protector inerte o también llamado MIG.
- FCAW: proceso de soldadura por arco con núcleo fundente.

Los procesos pueden utilizarse solos o combinados entre sí, a continuación, se presenta una figura en el cual se agrupan los procesos de soldadura que se recomiendan para la fusión de metales, tomando en consideración sus propiedades.

Figura 3. **Procesos recomendados para la fusión de metales**

PROCESO DE SOLDADURA	Acero dulce bajo carbono -tipos SAE 1010 y 1020	Aceros de mediano carbono -tipos SAE 1030 y 1050	Aceros de baja aleación - tipos SAE 2340, 3145, 4130 y 4350	Aceros austeníticos inoxidables -tipos AISI 301, 310, 316 y 347	Aceros ferríticos y martensíticos inoxidables - tipos AISI 405, 410, 430	Aleaciones de alta resistencia y elevada temperatura - tipos 17-14, CuM, 16-25-6 y 19-9 DL	Hierro fundido y hierro gris	Aluminio y aleaciones de aluminio	Magnesio y aleaciones de magnesio	Cobre y aleaciones de cobre	Níquel y aleaciones de alto contenido de níquel	Plata	Oro, platino e iridio	Titanio y aleaciones de titanio
Arco metálico protegido	R	R	R	R	R	R	S	S	NA	NR	R	NR	NR	NA
Arco sumergido	R	R	R	R	S	S	NR	NR	NA	NR	S	NR	NR	NA
Soldadura TIG	S	S	S	R	S	S	S	R	R	R	R	R	R	R
Soldadura MIG	S	S	S	R	S	S	NR	R	S	R	R	S	S	S
Soldadura por Arco con presión	R	R	R	R	S	S	NR	S	NR	S	S	S	S	S
Soldadura por puntos	R	R	R	R	S	S	NA	R	S	S	R	NR	S	S
Soldadura a Gas	R	R	S	S	S	S	R	S	NR	S	S	R	R	NA
Soldadura fuerte al horno	R	R	S	R/S	S	NR	NR	R	NR	S	R	S	S	S
Soldadura fuerte a soplete	S	S	NR	S	S	NR	R	R	NR	R	R	R	R	S

R=Recomendado

S= Satisfactorio

NR= No recomendado

NA=No aplicable

Fuente: EXSA-OERLIKON, (1995), *Manual de soldadura*.

### 7.2.1. Soldaduras de revestimientos duros

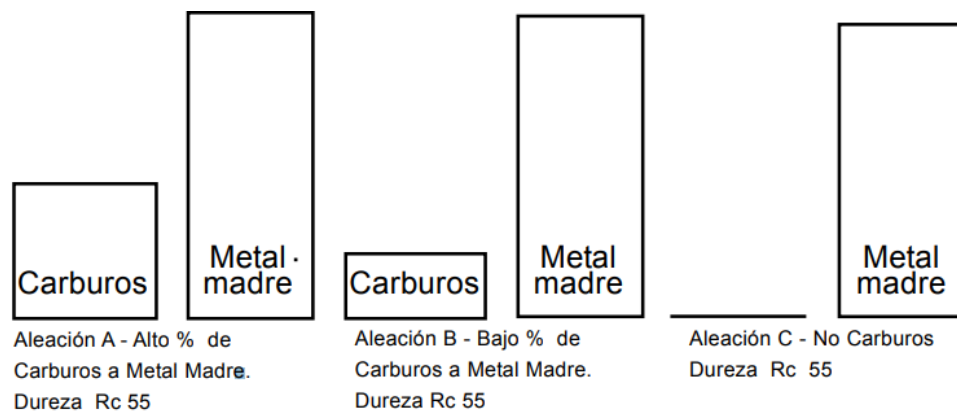
La recuperación de piezas consiste en la aplicación de un material de aleación especial, sobre una pieza metálica a través de diversos procesos de soldadura, el objetivo de estos es brindar mayor resistencia al desgaste o recuperar las dimensiones de la pieza.

Existe actualmente en el medio una amplia gama de aleaciones, para casi cualquier pieza metálica, algunas son utilizadas para brindar resistencia a

la abrasión; mientras que ciertas aleaciones buscan llevar los componentes, hasta una determinada dimensión para elevar su calidad, en tanto que otras, se utilizan para brindar una capa anti-desgaste, que pueda blindar la superficie de trabajo, tal como sucede al ser utilizado en los martillos de una desfibradora de caña en un ingenio.

INFRASAL/OXGASA (s.f.), en el manual del soldador, menciona que existen tres factores principales de desgaste que son: abrasión, calor y corrosión. La dureza no es un identificador directo de resistencia a la abrasión, tal como se demuestra en la siguiente figura:

Figura 4. **Dureza y su correlación con el desgaste**



Fuente: INFRASAL/OXGASA, (s.f.), *Manual del soldador*.

### 7.2.2. Características técnicas de revestimientos hardfacing

La mayoría de los revestimientos duros, se fabrican de acuerdo con las especificaciones establecidas en la norma ANSI/AWS A5.13, y de conformidad con la norma ANSI/AWS A5.21, en los que se incluye los requerimientos para la clasificación de electrodos y varillas de soldadura para recubrimiento sólido.

Se dispone de una amplia variedad de electrodos y alambres tubulares para la soldadura SMAW, en los que se depositan capas resistentes al desgaste, impacto y corrosión, ya sean líquidos o sólidos químicos que actúen sobre la pieza. La selección del tipo de electrodo más adecuado a utilizar inicia con reconocer los factores que generan el desgaste o al que estará sujeto la pieza; así como, la exigencia al que estará sometida, como lo son la influencia de la abrasión, la necesidad de que la pieza pueda ser mecanizada, la composición de la pieza a proteger o recuperar, si el componente pueda soportar las temperaturas sin agrietarse o que pueda romperse, entre otros.

El estudio realizado por EXSA-OERLIKON (1995), para su manual de soldadura, identifica al desgaste como factor principal de la necesidad de recubrimiento, debido a la pérdida de partículas metálicas del metal base. Razón misma, por la que se utiliza la tecnología de revestimiento duro en las plantas azucareras, aplicando capas, crecimientos de las superficies y una dureza de hasta 60 HRC. Generalmente la finalidad de estas aplicaciones es proporcionar a la superficie base, alguna o la combinación de varias de las siguientes propiedades:

- Resistencia ante la corrosión
- Control metalúrgico
- Control dimensional
- Resistencia al desgaste
- Resistencia al impacto

### **7.2.3. Aceros al carbono**

Este es uno de los principales aceros, ya que se estima que el 90 % del total de fabricación de acero a nivel mundial, están constituidos de carbono.

Al aumentar la cantidad de carbono presente en el acero al carbono, su resistencia a la tracción y su índice de fragilidad se incrementan, mientras que la ductilidad y tenacidad se reduce considerablemente.

Para la identificación del acero al carbono y aleaciones de acero, se utilizan las siguientes clasificaciones:

- ASI: del Instituto Americano del Hierro
- ASTM: de la Sociedad Americana de Pruebas en Materiales

A continuación, se presenta una tabla en la que se agrupan las propiedades del acero A-36:

Tabla I. **Propiedades del acero A-36**

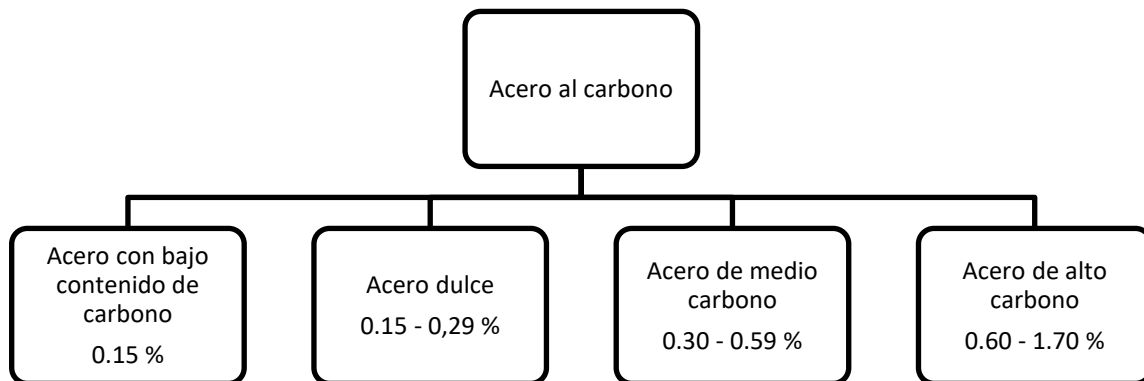
<b>Propiedades mecánicas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Resistencia a la tracción	MPa (ksi)	400-550 (58-80)
Limite elástico (Esfuerzo de fluencia)	MPa (ksi)	250 (36) – 220 (32)
Elongación	%	20 – 23
Dureza Brinell	HBW	119 – 162
Módulo de elasticidad	GPa (ksi)	200 (29 x 10 <sup>3</sup> )
Prueba de impacto Charpy con muesca en V, J	ft- lbf	27 (20)
Módulo de corte	GPa (ksi)	79,3 (11,5 x 10 <sup>3</sup> )
Límite de fluencia	MPa (ksi)	250 (36)

Fuente: *ASTM A36 Acero, propiedades y ficha técnica: fy, dureza, densidad.* Consultado en: noviembre 2022. Recuperado de: <https://www.materialmundial.com>.

#### 7.2.4. Clasificación de los aceros al carbono

De acuerdo con McCormac y Csernak (2012), estos aceros se clasifican de acuerdo con la composición química y su contenido de carbono en su estructura, además, de la manera en la cual fueron manufacturados. Normalmente, estos se encuentran entre el hierro colado y el hierro dulce, con un contenido de carbón en un rango de 0.15 a 1.7 %.

Figura 5. Clasificación del acero en relación con su contenido de carbono



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

#### 7.2.5. Aceros con bajo contenido de carbono

Aunque el 90 % del total de fabricación de acero está constituido por aceros al carbono, el 10 % restante, corresponde a todas las aleaciones que se pueden realizar en los aceros, tomando en consideración que la cantidad de carbono presente genera una variación en sus propiedades como la resistencia a la tracción, índice de fragilidad, ductilidad y tenacidad.

### **7.3. Gestión del mantenimiento**

El mantenimiento se puede definir como, el conjunto de técnicas destinados a conservar los equipos e instalaciones, que se encuentren en servicio durante el mayor tiempo posible, con el máximo rendimiento y el menor riesgo.

A través de la evolución en el mantenimiento en los procesos industriales, se ha recorrido por diferentes etapas en relación con los avances de la tecnología, el IOT y en la actualidad, en la incursión de los modelos de aprendizaje de la inteligencia artificial, etc. Estos cambios también han traído nuevos retos y técnicas o estilos de gestión del mantenimiento, en cuyo caso se basa en el estudio de los equipos, el análisis de los modos de fallo y en aplicaciones de técnicas estadísticas y tecnología de detección, esto según, Gardella (2017).

Garrido (2003), hace mención en su investigación sobre el hecho de que, en la actualidad, la administración del mantenimiento presenta mayor relevancia en los procesos industriales, con el objetivo de ser competitivos y maximizar la utilización de los recursos, e incrementar la certeza en la disponibilidad de la maquinaria y equipos, a fin de que no se interfiera con las obligaciones de la empresa.

Para la ejecución del desarrollo de las obligaciones del departamento de mantenimiento, se requiere de directrices claras, planificadas y dirección para alinearse con los objetivos de la empresa. Para poder producir con calidad, regular la seguridad y reducir los efectos del impacto al medio ambiente durante las etapas de producción.



### **7.3.1. Tipos de mantenimiento**

Existen dos categorías básicas de mantenimiento, aquellas acciones que se realizan para corregir un activo después de que se presenta una falla, conocidas comúnmente como mantenimiento correctivo. Y aquellas que, se realizan para prevenir que un activo incurra en un estado de falla, conocidas como mantenimiento preventivo. Son varias las actividades que forman parte del mantenimiento, estas pueden ser desde simples inspecciones o chequeos visuales para validar las condiciones superficiales o el rendimiento de una máquina, que permita determinar si este requiere la programación de una acción específica.

Si se quiere optimizar los procesos, Garrido (2003) considera que ya no es suficiente tomar en cuenta únicamente las características del equipo o el tipo de instalación, sino que es necesario determinar una serie de factores que abarcan aspectos como los costos de parada de producción, influencia en la seguridad laboral, costos de reparación, servicio al cliente, finanzas, etc. Por lo tanto, se debe determinar las tareas de mantenimiento más conveniente para cada equipo, estudiando a cierto nivel de detalle, la interrelación del activo que requiere el mantenimiento con su entorno, es decir, el proceso de producción en el que interviene, el área donde se encuentra y si puede movilizarse, entre otros.

Las acciones de mantenimiento ya sean preventivas o correctivas, pueden ser focalizadas, por ejemplo, mantenimiento de áreas, que se refiere al mantenimiento que se les da a las paredes, techos, pisos de ciertas áreas de acuerdo al uso o las necesidades de cada una. También está el mantenimiento de máquinas, mantenimiento de equipos, mantenimiento de exteriores, etc.

### **7.3.1.1. Mantenimiento correctivo**

Para detallar con mayor claridad este tipo de mantenimiento, se puede definir como una serie de actividades o tareas designadas a corregir alguna anomalía que se haya presentado en el equipo y son registrados, programados y planificados para su generación en órdenes de trabajo que han de ser atendidos por las personas asignadas que posean la capacidad de solucionar.

No se puede definir el nivel de criticidad o la complejidad de este tipo de mantenimiento, debido a que las fallas que ocurren pueden ser tan simples, como retirar un objeto ajeno a la maquinaria o limpiar ciertas piezas; o pueden ser fallas complejas que requieran el modelado de una pieza, el cambio de motor o desarmar la maquinaria para llegar a la falla. Esto implica que un mantenimiento correctivo puede realizarse en cuestión de minutos o que puede durar días. Con ello se entiende que, el tiempo que dura un mantenimiento está directamente relacionada con la complejidad de la falla y que no es posible presupuestar un monto exacto para mantenimiento correctivo, por ser muy variable.

### **7.3.1.2. Mantenimiento preventivo**

Este es el tipo de gestión que tiene como objetivo mantener un nivel de estado determinado en la máquina, a través de un programa establecido, que incluye rutinas en el que se detallan las actividades correspondientes a ciertos puntos de interés en los que se pueden prevenir fallas potenciales o funcionales, generar alertas de manera oportuna y evitar costos por mantenimiento correctivo, entre otros.

Las tareas de mantenimiento preventivo conllevan a realizar en los equipos, un conjunto de actividades programadas que van desde inspecciones, revisiones o sustituciones de elementos que deben recoger por escrito, como listas de chequeo, tomas de datos de condición, fichas de control, etc.; además, todo debe estar claramente plasmado, bajo procedimientos de trabajo que aseguren que las actividades se realizan de la forma en que se especifica, a fin de garantizar cada trabajo realizado.

### **7.3.2. Productividad**

La productividad es aquella relación que hay entre los recursos utilizados y el valor añadido, comúnmente la productividad esta también ligada a los conceptos de eficiencia y eficacia, la primera de ellas está vinculada al resultado alcanzado y los recursos empleados, y la segunda es el nivel en el que se desarrollan las actividades y se logra los resultados esperados, dicho de otra manera, mide el impacto de lo realizado. Además, no solo busca lograr el 100 % de efectividad, sino también que este sea realizado de forma adecuada.

Mazuera et al. (2011), consideran que la productividad se puede hallar mediante la relación existente entre las unidades fabricadas y el tiempo en que se realizan; las unidades fabricadas y los recursos empleados para ello; o lo planificado y lo realizado. También se puede calcular al tener medida la eficiencia y eficacia, el producto de ambas es la productividad.

### **7.3.3. Parámetro de productividad**

Díaz (2017) señala en su investigación, que la conceptualización de los términos eficacia y eficiencia tienen varias conceptualizaciones.

Por lo común, su principal diferencia se encuentra en que la eficacia está enfocada en el alcance de objetivos, y es importante desde la perspectiva personal, en la medida que todas las acciones tengan realmente lugar cuando se actúa con tal intención, en tanto que la eficiencia se centra en la optimización de recursos. De acuerdo con Fernández y Sánchez (1997), en su libro establece las diferencias que se presentan a continuación:

Tabla II. **Definiciones de los términos eficiencia y eficacia**

<b>Eficiencia</b>	<b>Eficacia</b>
Énfasis en los medios	Énfasis en los resultados
Hacer las cosas de manera correcta	Hacer las cosas correctas
Resolver problemas	Alcanzar objetivos
Salvaguardar los recursos	Optimizar la utilización de los recursos
Cumplir tareas y obligaciones	Obtener resultados
Entrenar a los subordinados	Proporcionar eficacia a los subordinados

Fuente: Fernández y Sánchez, (1997), *Eficacia organizacional: Concepto, desarrollo y evaluación*.

Para los procesos de soldadura, que son parte de las actividades de mantenimiento, se pueden definir ciertas ecuaciones que permiten determinar cada una de ellas de acuerdo con los términos anteriormente descritos.

#### **7.4. Proceso de soldadura SMAW**

En el artículo de la Sociedad Americana de Soldadura (1996), define este proceso como aquel que produce un arco eléctrico entre la pieza y la varilla de aporte. En éste, se produce coalescencia de metales por medio de calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie en que se desarrolla la unión soldada.

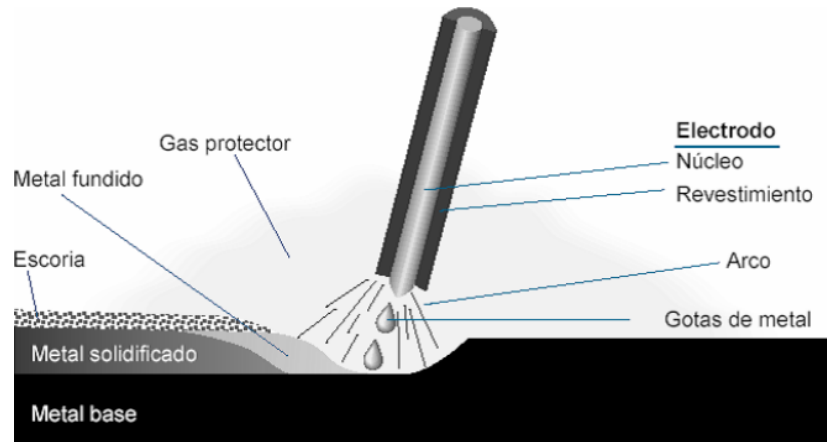
Se le denomina SMAW por sus siglas en inglés de *Shielded Metal Arc Welding*, que significa soldadura de arco con electrodo revestido. Este proceso es ampliamente utilizado en las industrias, para fabricación de componentes metálicos requeridos para su operación y mantenimiento. Su principio se basa en la alta temperatura que se genera, durante el establecimiento del arco eléctrico que permite la fusión de metales base y la punta de varilla revestido; debiéndose a este proceso, la combustión y la presencia de gases protectores cuya función es resguardar el metal fundido de impurezas y de la influencia de la atmósfera, los cuales se transfieren a través del arco hasta el charco de material fundido.

La varilla de aporte y el metal crean un circuito cerrado, este parte desde la fuente de la máquina que convierte el voltaje de entrada, de tipo senoidal, a un voltaje de corriente directa a un nivel menor para su utilización, los cables, un porta electrodo, el electrodo y, por último, el metal base.

Puesto que el arco de este proceso es de los que más calor produce durante la fusión, alcanzando temperaturas cercanas a los 5,000 °C en su centro, la fusión del material ferroso se realiza casi instantáneamente al iniciarse el arco; además, este proceso demanda la suficiente corriente a la fuente para fundir la varilla y pueda incorporarse al metal base. Este y otros factores como la distancia entre la punta de la varilla y el metal, el tamaño y el tipo del electrodo; así como, la distancia desde la fuente hasta la zona donde será realizada la unión, son algunos de los requisitos a considerar previo a desarrollar una unión de soldadura, de acuerdo con la Sociedad Americana de Soldadura (1996).

En la siguiente figura se muestra el proceso de soldadura SMAW, especificando los elementos que intervienen en él.

Figura 6. **Proceso de soldadura SMAW**



Fuente: Rodríguez y Tole, (2017), *Estudio comparativo de soldadura mecanizada*.

En las soldaduras hechas con el proceso SMAW, a veces se encuentran discontinuidades tales como: porosidad, inclusiones de escoria, fusión incompleta, socavamiento y grietas, entre las más comunes.

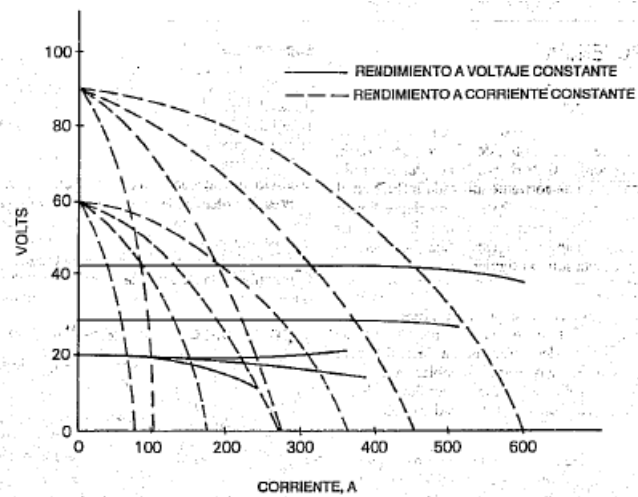
#### **7.4.1. Variables principales del proceso SMAW**

En este proceso de soldadura, las variables determinan ciertas características de suma importancia, respecto al cordón depositado, la penetración, la forma geométrica y otras características metalúrgicas; de acuerdo con la Sociedad Americana de Soldadura, algunas de las variables principales del proceso SMAW son:

- Tipo de corriente: se puede utilizar corriente alterna o bien continua para la soldadura por arco, dependiendo del tipo de corriente elegido influirá en el rendimiento del electrodo. Ambos tipos de corriente tienen ventajas y limitaciones.

- Voltaje en el arco: es el diferencial de potencia en la fuente, no se refiere al voltaje propio del arco, sino al cambio de potencia entre el electrodo y la superficie ferrosa durante el desarrollo de la unión. En la siguiente figura se presenta una curva de voltaje-amperaje típicas de fuentes de potencia de corriente y voltaje constante.

Figura 7. **Curva de voltaje y corriente de fuentes de potencia**



Fuente: Sociedad Americana de Soldadura, (1996), *Manual de soldadura*.

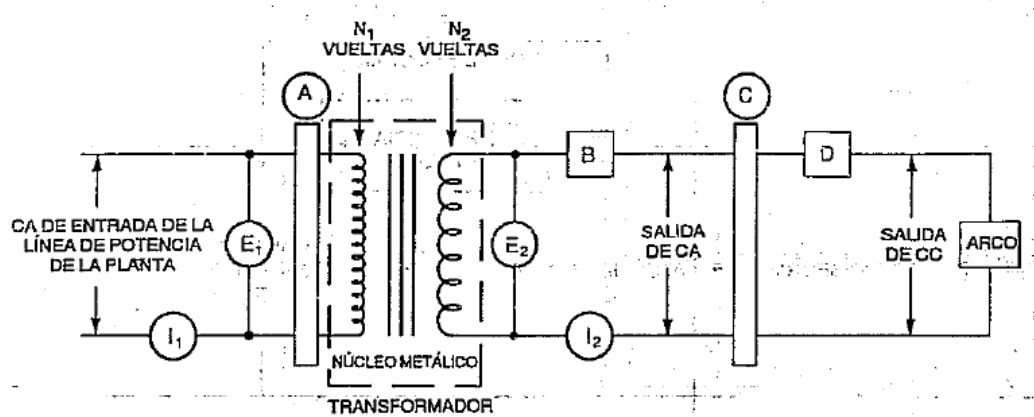
- Velocidad deposición de soldadura: es la razón a la cual el metal de aporte se consume a lo largo de la unión. Una velocidad adecuada se genera cuando el cordón de soldadura posee una buena penetración y apariencia. Esta depende de algunos factores como la polaridad, corriente, demanda de amperaje, tasa de fusión del electrodo, posición de soldeo, espesor de metal base y la condición de su superficie.
- Selección de la fuente: es preciso que el equipo entregue el amperaje adecuado al diámetro y tipo de varilla a fundir.

### 7.4.2. Circuito eléctrico para la soldadura tipo SMAW

Todos los componentes que conforman el proceso al arco protegido poseen una función importante y con ello buscan garantizar la calidad de una unión o reacondicionamiento. Para el caso de las aplicaciones donde se requiere recubrimiento duro, es importante la razón o velocidad de disposición del metal fundido para fabricación de martillos.

La Sociedad Americana de Soldadura (1996), señala que las fuentes de potencias para esta aplicación en sí demandan una corriente alta para la fusión de estos al metal base, se presenta a continuación, una configuración básica del circuito eléctrico conformado principalmente por un transformador cuya función es realizar la conversión de energía, siguiendo los principios de que se cuenta con una tensión primaria de mayor magnitud y una corriente baja.

Figura 8. Principales elementos eléctricos de una fuente



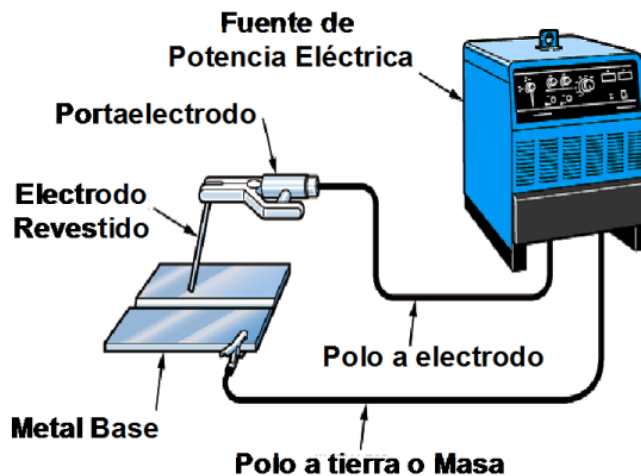
Fuente: Sociedad Americana de Soldadura, (1996), *Manual de soldadura*.



### 7.4.3. Equipo para el proceso SMAW

La máquina y sus componentes que lo integran, para poder comenzar con el desarrollo de la soldadura con electrodo, están clasificados de acuerdo con su fuente, cuya función es aportar la energía eléctrica para desarrollar la fusión del electrodo y la superficie a soldar o reacondicionar. En la siguiente figura se muestra el esquema de cada uno de los componentes de un equipo de soldadura SMAW.

Figura 9. Equipo para el proceso de soldadura SMAW



Fuente: Rodríguez y Tole, (2017), *Estudio comparativo de soldadura mecanizada*.

Estos equipos pueden ser de diferentes tipos, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- Transformador con rectificador: es un dispositivo eléctrico que convierte la corriente eléctrica alterna en corriente directa, mediante una placa de diodos fabricados de metales semiconductores.

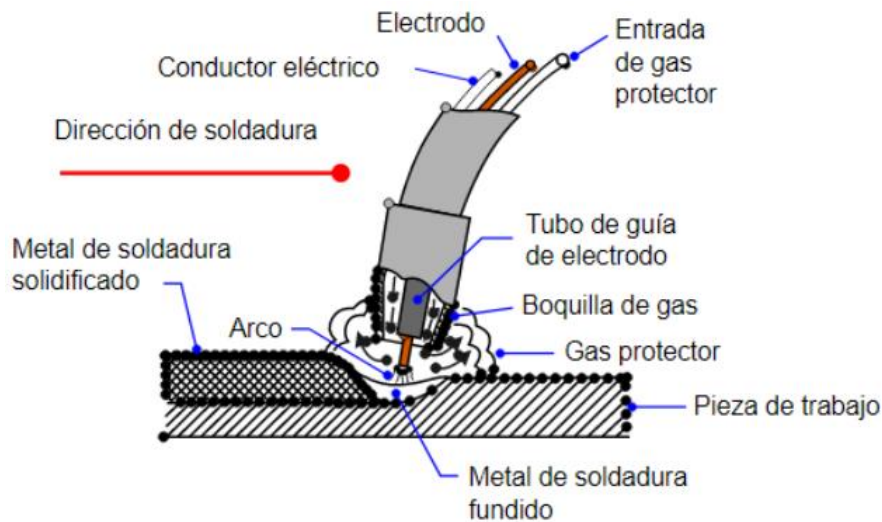
- Tipo inversor: es un dispositivo que cambia o transforma la tensión de entrada de corriente continua, a una tensión simétrica de salida de corriente alterna o viceversa.
- Tipo de transformador: es eléctrica, no posee elementos electrónicos y es utilizado únicamente en procesos que requieran la utilización de corriente alterna para aumentar o disminuir la tensión en un circuito, manteniendo la potencia.
- Tipo generador: es un motor de combustión capaz de convertir la energía mecánica en eléctrica, posteriormente esta corriente alterna puede ser rectificadora a través de componentes electrónicos que generen la corriente directa y ser utilizado en labores donde el acceso al suministro de energía sea difícil, tal como en el caso de la agroindustria en el que las labores de soldadura deben desarrollarse en el campo para la unión de piezas para diferentes labores de mantenimiento o recuperación.

## **7.5. Proceso de soldadura GMAW**

Este proceso surge en 1920, de acuerdo con la Sociedad Americana de Soldadura, sin embargo, estuvo disponible comercialmente hasta en 1948. La aplicación fundamental en sus inicios fue el proceso de soldadura para unión de piezas de aluminio. Actualmente, este proceso puede operar en modalidades robotizado, semi automática e incluso automática. Existen dos clasificaciones en este proceso, que se diferencian según el gas protector y la base a proteger; el primero es MIG que utiliza un gas inerte puro como protección para metal no ferroso y el segundo es MAG, que usa dióxido de carbono o mezcla como gas protector para metal ferroso.

Como tal, es un proceso que utiliza corriente directa con polaridad invertida, donde el material de aporte del tipo sólido y desnudo es protegido de las impurezas del ambiente por medio de un gas protector que se suministra en forma externa; de los más comunes se pueden mencionar el bióxido de carbono, mezcla de argón en cierta proporción o gases con base de helio.

Figura 10. **Proceso de soldadura GMAW**



Fuente: Rodríguez y Tole, (2017), *Estudio comparativo de soldadura mecanizada*.

### 7.5.1. **Parámetros del proceso GMAW**

Tal como lo describe en su investigación García (2009), el conocimiento y control de los parámetros como corriente, polaridad, voltaje de arco, velocidad de recorrido, largo del electrodo, orientación, posición en que se desarrollará la unión, diámetro del alambre o electrodo desnudo y la composición de la razón de flujo de gas protector, es muy importante para producir uniones o revestimientos de buena calidad.

Estos parámetros no son independientes del todo, durante la ejecución en campo y cuando es modificado uno de sus parámetros, normalmente es necesario modificar más de algún otro para obtener los resultados esperados en la unión.

#### 7.5.1.1. Corriente de la soldadura

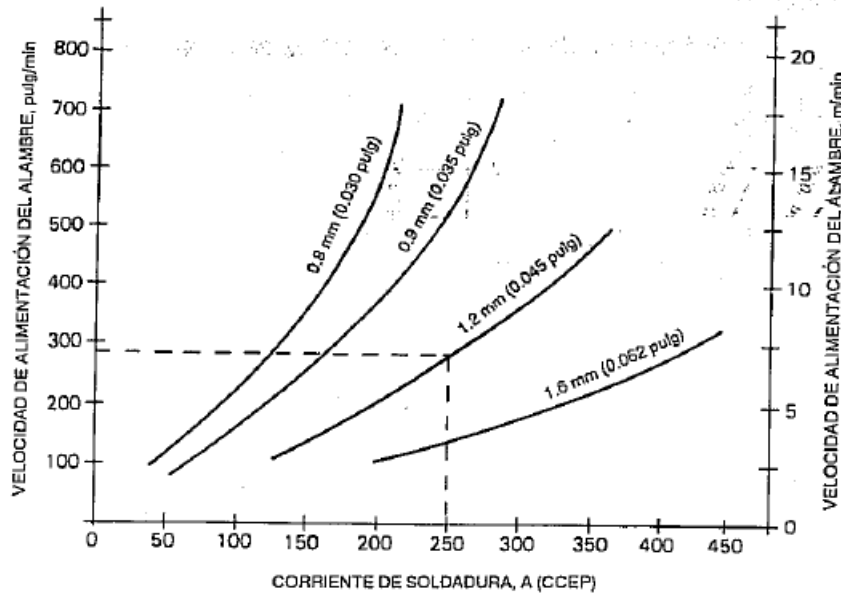
Este parámetro cambia en relación con la velocidad de alimentación del electrodo o del alambre y con la razón con que se desarrolle la fusión; el diámetro del material de aporte también influye en la demanda de corriente necesaria según lo señalado por Álava (2015). Para las condiciones de los alambres con diámetros pequeños, la curva tiene un comportamiento cercano a una tendencia lineal, pero para aquellas condiciones en las que se requiere aumentar el diámetro del alambre, conservando la velocidad de alimentación, se requiere una corriente de mayor magnitud y de comportamiento no lineal. Las curvas pueden representarse a través de la siguiente ecuación:

$$WFS = aI + bLI^2$$

Donde:

- WFS = velocidad de alimentación del material de aporte en mm/s o in/s.
- a = constante para el calentamiento anódico o catódico, su magnitud depende de la polaridad, composición y otros factores, puede presentarse en mm/s-A o in/min-A
- b = para definir a la constante de proporcionalidad en el calentamiento por resistencia eléctrica  $S^{-1} A^{-2}$  ( $\text{min}^{-1} A^{-2}$ )
- L = tipo de diámetro del electrodo, que puede ser en mm o in
- I = corriente de la soldadura, A

Figura 11. **Patrones de corrientes y velocidad de alimentación**



Fuente: Sociedad Americana de Soldadura, (1996), *Manual de soldadura*.

En la figura anterior se observan las corrientes de soldadura típicas contra velocidades de alimentación del alambre para electrodos de acero al carbono; donde se evidencia la relación entre la corriente de soldadura y la velocidad de alimentación del alambre.

### 7.5.1.2. Polaridad

Describe la conexión eléctrica de la pistola soldadora en relación con las terminales de una fuente de potencia de corriente continua. Si el cable se conecta a la terminal positiva, esta es llamada corriente continua con electrodo positivo; si se conecta de manera inversa, entonces la conexión se opera en la terminal negativa, indica Álava (2015).

Para este tipo de procedimiento es muy común observar que la conexión de polaridad positiva sea la de mayor utilización, debido a que esta genera un arco más estable, además de una mejor transferencia de material fundido, con excelente uniformidad, pocas salpicaduras, buen patrón de la raíz y profundidad de penetración. Mientras que la conexión del tipo polaridad invertida, es rara vez utilizada, debido a que no ofrece una buena fusión del metal.

#### **7.5.1.3. Velocidad de desplazamiento**

La Sociedad Americana de Soldadura (1996) indica que, esta velocidad, se refiere a la tasa de movimiento lineal del arco a lo largo de la unión que se va a soldar. Si se considera a los otros parámetros, como constantes durante la ejecución, entonces la penetración de la fusión puede ser óptima a una velocidad media. Si se reduce, entonces la velocidad causa un aumento en la deposición del electrodo o alambre por unidad de longitud.

Es muy importante mencionar que, si el aumento de velocidad es lo suficientemente alta, este puede causar socavamiento y otras imperfecciones a lo largo del borde del cordón de soldadura, debido a que no se entrega suficiente metal fundido para rellenar la zona de trabajo durante el desarrollo de la unión o reacondicionamiento.

#### **7.5.2. Gases de protección**

La principal función del gas protector es restringir, que la atmósfera entre en contacto con el metal fundido durante el desarrollo de la soldadura. Esto debido a los efectos que pueda generar la presencia del oxígeno en el cordón y la reacción durante la fusión del metal, donde tienden a generar óxidos, monóxido de carbono y dióxido de carbono y nitruros en menor proporción.

Los elementos de reacción, antes mencionados pueden causar imperfecciones o zonas de falla, como la escoria que quede atrapada, la porosidad y pérdida de propiedades mecánicas como la ductilidad del metal.

Los gases más utilizados en la industria de la soldadura son generalmente mezclas de gases inertes y que puedan también contener menores partes de oxígeno o de CO<sub>2</sub>. Dentro de estos se encuentran el argón, helio y las mezclas argón-CO<sub>2</sub>, utilizados para ejecutar soldaduras de metales ferrosos y aceros inoxidable; la principal distinción entre ellos es, por ejemplo, sus propiedades físicas como densidad, conductividad térmica y propiedades del arco tal como es señalado por la Sociedad Americana de Soldadura (1996).

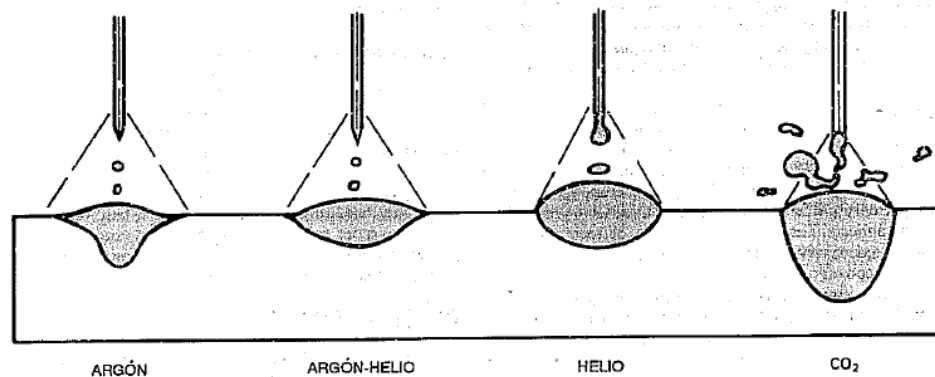
Figura 12. **Clasificación de gas protector**

Gas Protector	Comportamiento Químico	Usos y Observaciones
ARGON	Inerte	Para soldar diversos metales, excepto aceros.
HELIO	Inerte	Para aleaciones de aluminio y cobre. Mejor penetración y minimizar la porosidad.
ARGON y HELIO (20-80% a 50-50%)	Inerte	Aleaciones de aluminio y cobre para minimizar la porosidad. El arco es más suave y estable que con Helio solo.
ARGON y CLORO (Cl en trazas)	Esencialmente Inerte	Aleación de aluminio. Reduce la porosidad.
NITROGENO	Reductor	En cobre - arco muy potente. Usado más en Europa.
ARGON-25 a 30% N <sub>2</sub>	Reductor	En cobre - arco más potente, pero trabaja más suave y da más fácil control que con N <sub>2</sub> sólo. Muy usado en Europa.
ARGON-1 a 2% O <sub>2</sub>	Oxidante	Aceros inoxidable y de baja aleación. Requiere electrodo desoxidado.
ARGON-3 a 5% O <sub>2</sub>	Oxidante	Aceros al carbono, aleados e inoxidable. Requiere electrodo desoxidado.
ARGON-20 a 30% CO <sub>2</sub>	Oxidante	Varios aceros. Se usa con arco en cortocircuito.
ARGON-5% O <sub>2</sub> -15% CO <sub>2</sub>	Oxidante	Varios aceros. Requiere alambre desoxidado. Usado principalmente en Europa.
CO <sub>2</sub>	Oxidante	Aceros al carbono de baja aleación. Electrodo desoxidado es esencial.

Fuente: EXSA-OERLIKON, (1995), *Manual de soldadura*.

Es importante mencionar que el argón es 1.4 veces más denso que el aire y el helio, en cambio posee una relación de 0.14 veces. Cada uno de estos gases producen características en el núcleo de la soldadura, en el caso del argón, propicia un núcleo de alta energía y una zona exterior de menor energía y como tal, produce un cordón con una zona de penetración más angosta y de profundidad media, a diferencia el helio, este se caracteriza por su conductividad térmica y produce un plasma de arco de energía distribuido de manera uniforme el cual produce un perfil de cordón de soldadura profunda, ancha y parabólica.

Figura 13. **Perfil del cordón de penetración según el gas a utilizar**



Fuente: Álava J., (2015), *Mejora en el proceso de fusión de piezas metálicas sustituyendo el tipo de soldadura al arco con electrodo revestido SMAW por la soldadura al arco con gas protector GMAW en la empresa Fabriesmetal S.A.*

### 7.5.3. Alambre para el proceso GMAW

Rodríguez y Tole (2017), señalan que los alambres que se utilizan en los procesos de soldadura tienen una serie de clasificaciones, para su reconocimiento técnico en la industria, utilizando por lo general la clasificación AWS de los electrodos de la soldadura GMAW, de la siguiente tabla.



Tabla III. **Clasificación AWS de electrodos de soldadura GMAW**

<b>Código</b>	<b>Significado</b>
E	Electrodo
R	Alambre
YY (70, 80, 90, 100)	Resistencia a la tracción mínima (70=70 000 lb/in <sup>2</sup> )
S	Sólido
X = 2, 3, 4, 6, G	Composición química con elementos desoxidantes que pueden ser silicio, manganeso, aluminio, titanio, zirconio

Fuente: Rodríguez y Tole, (2017), *Estudio comparativo de soldadura mecanizada*.

En la tabla anterior se puede observar que un electrodo clasificado en ER70S-2 significa: electrodo de alambre con resistencia a la tracción mínima de 70 000 libras sobre pulgada cuadrada, sólido de silicio, según la clasificación AWS.

Para la investigación a realizar, en el proceso, será utilizado alambre tubular, en cuyo caso no es requerido un gas protector y para ello será utilizado el alambre de la marca Welding Alloy para revestimiento duro llamado *Hardface* HC-O con composición de 1.2 % manganeso, 1.7 % silicio y 28 % cromo.

Existen también alambres sólidos y en tal caso, si es necesario la utilización de gases protectores. En la actualidad existen variedad de productos y marcas para los revestimientos en presentación alambre tubular, que se utilizan para obtener deposiciones al requerir soldaduras con elevada velocidad, para fabricar o rellenar a través de la aplicación de capas, hasta alcanzar el objetivo de propiciar una zona de alta dureza que soporten las condiciones abrasivas o corrosivas, según se especifica en la investigación de García (2009).

## **7.6. Importancia de los costos**

Los costos adjudicados en el área de soldadura son de vital importancia como herramienta para el cálculo de costos variables de soldadura y las horas de mano de obra de dicho proceso, obtenidos durante la fabricación con revestimiento duro de martillos de desfibradora, en una planta azucarera. Esto permitirá a la gerencia de mantenimiento tomar decisiones al momento de presupuestar, tomando en cuenta los mecanismos de mayor productividad y los factores de variabilidad, que conlleven a tener beneficios para la organización, en conformidad con Torres, (2017).

### **7.6.1. Clasificación de los costos**

Se define a la teoría de costos, como la gestión en la cual, se debe de tratar la cuantificación y medición de los recursos disponibles, para el proceso productivo por medio de un fundamento económico propios de la organización.

Los indicadores económicos en las plantas industriales son sumamente dependientes de la buena utilización de la capacidad instalada y los ingenieros azucareros, también resguardan el cumplimiento de esta regla. Contar con la mayor cantidad de información, referido a los costos de mayor relevancia para la toma de decisión de la gerencia y/o responsables de la planta relacionados con la planeación, estrategias de mantenimiento, presupuesto y recurso humano, son algunos de los rubros relevantes para establecer los costos que incurren en el proceso industrializados, que suman al costo de producción, señalado por Córdova, Vargas, Miño y Vega (2019).

Osorio (2018), en su estudio indica que dentro de los principales costos que involucran en los procesos de soldadura cabe mencionar los siguientes:

Costo del material de aporte en los que se agregan los electrodos fundentes, gases protectores, electricidad, consumibles de equipo, etc.

Costos del recurso humano que en la actualidad son parte importante para los procesos productivos y que representan la proporción más significativa del costo total en la fabricación en el área del mantenimiento. Poder producir una pieza soldada, depende mucho de la cantidad de soldadura, la velocidad de deposición del equipo seleccionado y la calificación de la mano de obra requerida para llevar a cabo dichas actividades.

Gastos generales en los que se incluyen ciertos artículos asociados con el proceso, como la depreciación del equipo, el mantenimiento para conservar la máquina en óptimas condiciones, el entrenamiento del personal, la supervisión y otros mobiliarios.

### **7.6.2. Valor presente neto**

Leland y Tarquin (2006), especifica que este es un método de evaluación financiero, para la elaboración de presupuestos de capital y para la evaluación de la rentabilidad de las inversiones y proyectos propuestos. Además, el método permite determinar si la inversión puede incrementar o disminuir su valor, ese cambio en el valor puede ser positivo, negativo o igual.

Si el valor es positivo, indica que el proyecto o la inversión puede generar un incremento en su valor, equivalente al monto del valor presente neto; en el caso de que sea negativo, indica que la inversión reduce su valor correspondiente al monto resultante. Mientras que, si el valor resultante es cero, indica que la inversión no genera ningún beneficio, ni pérdidas ni ganancias.

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

- 1.1. La industria de la caña de azúcar
  - 1.1.1. Proceso productivo de la caña de azúcar
  - 1.1.2. Estación de preparación de caña
    - 1.1.2.1. Desfibradora de trabajo liviano
    - 1.1.2.2. Desfibradora de trabajo pesado
  - 1.1.3. Recubrimientos protectores hardfacing
- 1.2. Tipos de soldadura
  - 1.2.1. Soldadura de revestimiento duro
  - 1.2.2. Tecnología de recubrimiento duro hardfacing
  - 1.2.3. Aceros al carbono
  - 1.2.4. Clasificación de los aceros al carbono
  - 1.2.5. Aceros con bajo contenido de carbono
- 1.3. Gestión del mantenimiento
  - 1.3.1. Tipos de mantenimiento

- 1.3.1.1. Mantenimiento correctivo
    - 1.3.1.2. Mantenimiento preventivo
  - 1.3.2. Productividad
  - 1.3.3. Criterios de productividad
- 1.4. Proceso SMAW
  - 1.4.1. Variables principales del proceso SMAW
  - 1.4.2. Circuito de soldadura para el proceso SMAW
  - 1.4.3. Equipo de soldadura SMAW
- 1.5. Proceso GMAW
  - 1.5.1. Variables del proceso GMAW
    - 1.5.1.1. Corriente de soldadura
    - 1.5.1.2. Polaridad
    - 1.5.1.3. Velocidad de recorrido
  - 1.5.2. Gases de protección
  - 1.5.3. Velocidades de avance de la soldadura
- 1.6. Importancia de los costos
  - 1.6.1. Clasificación de los costos
  - 1.6.2. Valor presente neto

## 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

## 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

## **9. METODOLOGÍA**

Dentro de la metodología se toma en cuenta las características del estudio, la unidad de análisis y las variables de estudio, las cuales son descritas a detalle.

### **9.1. Enfoque**

La investigación que se presenta se trabaja bajo un enfoque no experimental, ya que se propone realizar un análisis económico de la eficiencia de las tecnologías, para aporte de carburo de tungsteno en martillos de desfibradora bajo un tipo de estudio cuantitativo, en el cual se pretende comparar la tecnología utilizada a la fecha de la investigación contra una nueva tecnología de aporte de soldadura.

### **9.2. Diseño**

Al pretender determinar la eficiencia y productividad entre dos grupos, teniendo como base la tecnología SMAW en el primer grupo y en el segundo grupo a través de la tecnología GMAW, en un tiempo determinado, se establece un diseño del tipo transeccional para la presente investigación.

### **9.3. Alcance**

El alcance será descriptivo, ya que pretende determinar los beneficios en costos y productividad, así como implementar el cambio de tecnología con base en los resultados obtenidos.

#### **9.4. Población de análisis**

La selección de la muestra estará conformada por el total de máquinas relacionados directamente con el proceso de fabricación de martillos de desfibrador de caña, la cual consta de tres máquinas Miller para proceso SMAW y una maquina Lincoln para el proceso GMAW.

- Población: máquinas soldadoras marca Miller.
- Muestra: 3 máquinas de soldadura Miller Dialarc 250 AC/DC SMAW y 1 máquina Lincoln modelo Flextec 500 para proceso GMAW.

#### **9.5. Variables**

En el presente estudio, las variables e indicadores que han de utilizarse serán medidas de tasa de deposición, factor de operación, costos y eficiencia de deposición. Para la primera, se determinará la dispersión de datos de los equipos en análisis, mientras que, para la segunda, se determinará el tiempo de trabajo para la fabricación de martillos; dejando de último los costos y la eficiencia de cada tecnología.

La operativización de variables se presenta en la siguiente tabla, en la primera columna se presentan los objetivos de la investigación, con base en los cuales se establecen las variables presentadas en la segunda columna, definiendo en la tercera columna el tipo de variables de acuerdo a sus características. En la cuarta columna se presentan los indicadores de los cuales se obtendrá la información a procesar, en la quinta la técnica estadística a utilizar para procesar la información complementado con el plan de tabulación que se presenta en la última columna.

Tabla IV. Operativización de variables

Objetivos de la investigación	VARIABLES	Tipo de Variables	Indicadores	Técnica	Plan de tabulación
Determinar la eficiencia y costos de fabricación del proceso de soldadura SMAW para aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibradora en un ingenio.	Productividad proceso SMAW	cuantitativo	Peso consumido Peso depositado Peso de colilla Número de piezas fabricados	Formato de registro de pesos  Formato de registros de tiempos	Estadística descriptiva, gráfico de dispersión
Definir la eficiencia y costos de fabricación del proceso de soldadura GMAW para aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibradora en un ingenio.	Productividad proceso GMAW	cuantitativo	Peso consumido Peso depositado Número de piezas fabricados	Formato de registro de pesos  Formato de registros de tiempos	Estadística descriptiva, gráfico de dispersión
Comparar la eficiencia del proceso SMAW y GMAW para aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibradora en un ingenio que contribuyan en la gestión del mantenimiento.	Análisis financiero	cuantitativo	Comparativo de costos deposición	Tabla de costos	Gráfico de barras

Fuente: elaboración propia.

## 9.6. Fases del estudio

Para realizar el estudio, se identifican cuatro fases fundamentales que son descritas a continuación:

### Fase 1: revisión documental

Inicialmente se realizará la revisión de documentos escritos sobre la temática, entre ellos se encuentran tesis, trabajos de graduación, documentos



académicos, artículos científicos, normas, fichas técnicas, manuales de operación y mantenimiento, historial de datos.

#### Fase 2: trabajo de campo

Se recopilará información sobre las condiciones a la fecha de investigación del sistema de aporte de soldadura de carburo de tungsteno en martillos de desfibadora de caña. En campo se determinará el peso, tiempo, voltaje y amperaje durante el aporte de soldadura por medio del uso de multímetro, cronómetro, balanza digital y se recolectará la información conforme al apéndice 3. Por medio de mediciones en campo se verificará las condiciones a la fecha de investigación del proceso, al identificar el tiempo de aportación, velocidad de aportación, cantidad de material depositado, los parámetros del equipo durante la realización de la prueba de soldadura.

#### Fase 3: trabajo de gabinete

Mediante la información recopilada, se tabulará y graficará las tendencias identificadas. Se utilizará software para la información y continuamente se tendrá revisión documental de soporte. Se establecerá la velocidad y tiempo de aportación de soldadura, en función de la cantidad de material de aporte utilizado y los costos se establecerá la eficiencia de los procesos de soldadura en análisis.

#### Fase 4: redacción de documento

Al utilizar la información recopilada y las tendencias mostradas, se procederá a la redacción final del documento de trabajo de graduación.

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Con base en la información que se desea adquirir y procesar, se consideran las siguientes técnicas:

- Series de tiempo: se aplicará esta técnica para ordenar los datos obtenidos en la fase dos, enfocado principalmente en el tiempo y velocidad de aportación que se identifique en el trabajo de campo.
- Formatos de recopilación: se han de crear formatos con los que se pueda registrar y analizar la información de los procesos para la deposición de revestimiento duro en martillos fabricados en acero A-36, ejecutado en fases.

Para electrodos revestidos se considera tabular la información, la pérdida de colilla, los tiempos de espera, peso total aplicado, tiempo para la aplicación, la razón de fabricación de piezas, posteriormente se realizará el análisis de dispersión de datos en el programa Microsoft Excel y determinación de rangos operativos del proceso en evaluación.

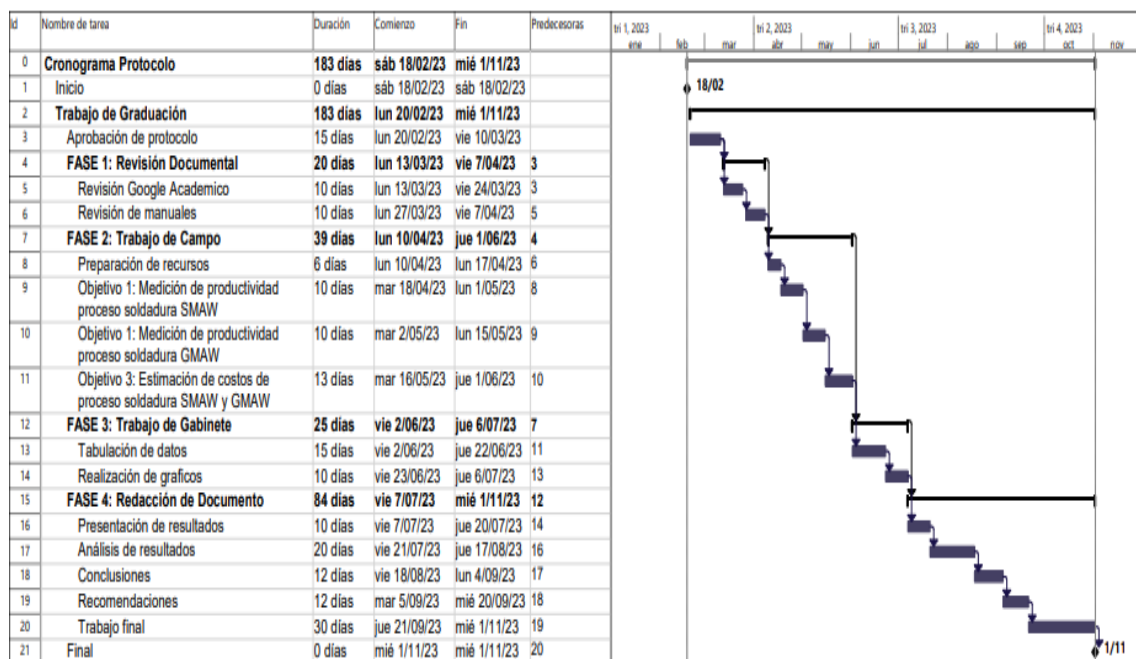
El registro de información para la determinación de la productividad del proceso alternativo para producción y determinación de tasa de deposición, razón de fabricación de piezas, peso total aplicado, tiempo para la aplicación, para luego su análisis de dispersión de su productividad.

Posterior al desarrollo de procesos de deposición con ambas tecnologías, se procederá a realizar el comparativo de productividad y costos en relación con la tasa de fabricación; así como, la optimización del mantenimiento.

## 11. CRONOGRAMA

A continuación, se presenta un cronograma de actividades con las cuatro fases planteadas para la investigación.

Tabla V. **Cronograma de actividades**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Estas fechas propuestas podrían variar, dependiendo la disposición de tiempo en el ingenio donde se realizará la investigación; así como, el tiempo disponible para asesoría y revisión por parte de la unidad académica.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para la investigación se dispondrán de los recursos necesarios para el desarrollo de las actividades en la determinación del análisis económico.

Se dispone de los permisos necesarios por el departamento de mantenimiento de la planta y los recursos con las siguientes características: soldadora marca Miller modelo Dialarc 250 AC/DC, para el desarrollo de las actividades de recubrimiento de martillos, tal como son realizados a la fecha de investigación y también de la disposición de dos equipos Lincoln modelo Flextec 500, para el método alternativo de evaluación de productividad y costos. Así mismo, se contará con la participación de recurso humano para la ejecución de las actividades de soldadura.

El recurso tecnológico, referente al equipo de cómputo, aplicaciones, internet y accesorios para impresión, pertenece al investigador, con lo cual se ha de procesar la información recolectada durante el análisis correspondiente.

El recurso financiero requerido será respaldado por la planta en que se desarrollará la investigación y será garante de los insumos inherentes para el desarrollo y la determinación de la productividad de los métodos de soldadura dispuestos para el revestimiento de martillos de desfibrador de caña del tipo pesado, en la siguiente tabla se brindará información del recurso necesario a utilizarse durante la investigación:

Tabla VI. **Estimación de recursos.**

<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo [meses]</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo recurso</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Subtotal</b>
1	6	Investigador	Humano	Q. 1 000,00	Q. 6 000,00
2	3	Soldador	Humano	Q. 732,00	Q. 4 392,00
1	6	Depreciación equipo de computo	Tecnológico	Q. 50,00	Q. 300,00
1	N/A	Rollo de 50 lb alambre de HC-O 5/64	Materiales	Q. 3 576,16	Q. 3 576,16
5	N/A	Caja de 11 lb electrodo revestimiento duro 5/64	Materiales	Q. 682,19	Q. 3 411,95
Subtotal					Q. 17 680,11
5% imprevistos					Q. 884,00
<b>Total</b>					<b>Q.18 564,11</b>

Fuente: elaboración propia.

### 13. REFERENCIAS

1. Álava, J. (2015). *Mejora en el proceso de fusión de piezas metálicas sustituyendo el tipo de soldadura al arco con electrodo revestido SMAW por la soldadura al arco con gas protector GMAW en la empresa Fabriesmetal S.A.* Tesis de grado en Ingeniería Industrial. Universidad Guayaquil, Ecuador.
2. ASTM A36 Acero, propiedades y ficha técnica: fy, dureza, densidad. Recuperado de: <https://www.materialmundial.com>.
3. Azúcar de Guatemala. (2022). Recuperado de: <https://www.azucar.com.gt/>.
4. CENGICANA. (2022). *Memoria presentación de resultados de investigación zafra 2021-2022.* Recuperado de: <https://cengicana.org/files/20220726093530582.pdf>.
5. Chen, J. (1991). *Manual del azúcar de caña: para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados.* México: Limusa.
6. Córdova, J., Vargas, B., Miño, G. y Vega, P. (2019). Cálculo del costo variable de soldadura en tanques API. *Revista mktDescubre, volumen 1*, p. 19-28.
7. D'Addario, M. (2017). *Manual de soldadura industrial: fundamentos, tipos y aplicaciones.* 1ra edición. Createspace.



8. Díaz, D. (2017). *Aplicación del ciclo PHVA para incrementar la productividad del área de soldadura de la empresa Metalmecánica Comeco Sac 2017*. Tesis de grado en Ingeniería Industrial, Universidad César Vallejo. Lima, Perú.
9. EXSA-OERLIKON. (1995). *Manual de soldadura y catálogo de productos*. Perú: OERLIKON.
10. Fernández, M. y Sánchez, J. (1997). *Eficacia organizacional: Concepto, desarrollo y evaluación*. Madrid, España: Díaz de Santos.
11. García, A. (2009). *Optimización de los parámetros de soldadura en el proceso de arco eléctrico con protección de gas (GMAW) para soldar un acero A-27*. Tesis en opción como maestro en tecnología de la soldadura industrial, Corporación Mexicana de Investigación de Materiales, División de estudios de posgrado. Saltillo, México
12. Gardella, M. (2017). *Técnicas de fiabilidad y gestión de mantenimiento*. Recuperado de: <https://simroconsulting.com>.
13. Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid, España: Díaz de Santos.
14. INFRASAL/OXGASA. (s.f.) *Manual del soldador*. Recuperado de: <https://www.infrasal.com/industria/phocadownloadpap/manual%20del%20soldador.pdf>.

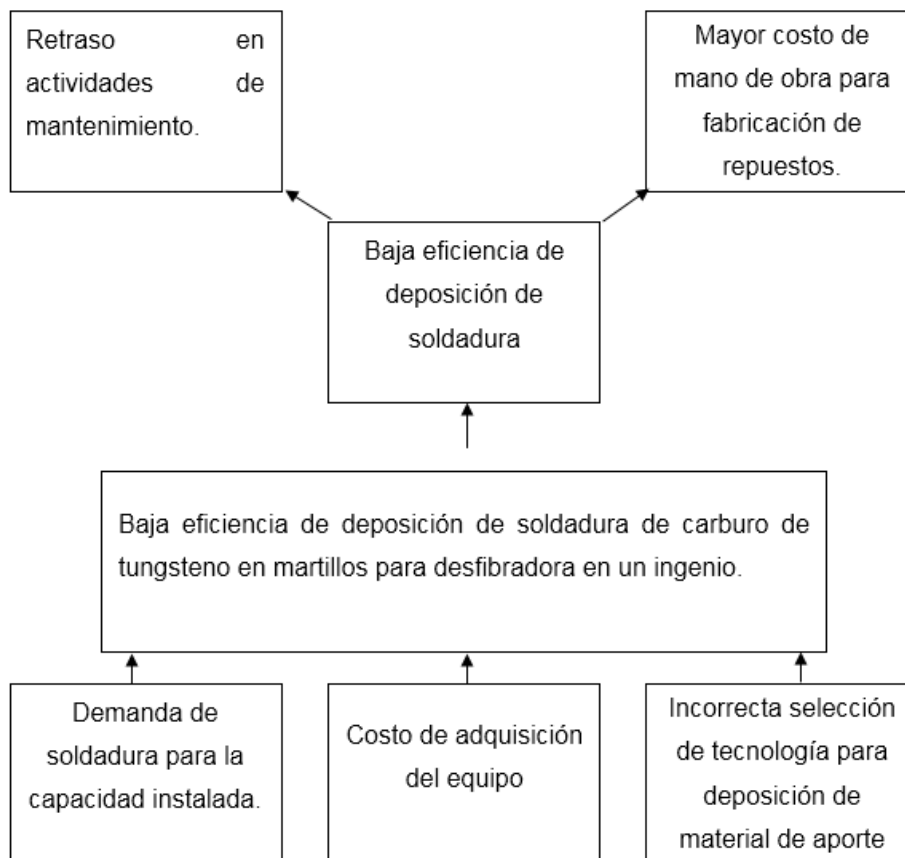
15. Leland, B. y Tarquin, A. (2006). *Ingeniería económica*. 7ma. Edición. México: McGraw- Hill.
16. Mazuera, D., Suárez, J. y Giraldo, J. (2011). *Estudio de productividad en la soldadura del acero MIL A 46100 con los procesos GMAW y SMAW*. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía, No. 59, p. 66-74.
17. McCormac, J. y Csernak, S. (2012). *Diseño de estructuras de acero*. 5ta. edición. México: Alfaomega.
18. Osorio, R. (2018). *Evaluación económica de dos procesos de soldadura, para minimizar los costos de fabricación de tanque de almacenamiento, en una metalmecánica*. Tesis de grado en Ingeniería Industrial, Universidad César Vallejo. Lima, Perú.
19. Pereda, J. (2018). *La aplicación de la metodología six sigma para mejorar la productividad en el área de soldadura de la empresa M.Q. Metalúrgica Sac*. Tesis de grado en Ingeniería Industrial, Universidad César Vallejo. Lima, Perú.
20. Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. Berlín: Bartens.
21. Rodríguez, S. y Tole, D. (2017). *Estudio comparativo de soldadura mecanizada con procesos GMAW/FCAW o GTAW frente a procesos de soldadura manual en tubería de transporte de hidrocarburos*. Tesis de grado en Ingeniería Mecánica con Especialización en Soldadura. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

22. Sociedad Americana de Soldadura. (1996). *Manual de soldadura*. Mexico: Prentice-Hall.
23. Torres, C. (2017). *Efecto de la tecnología de recubrimiento con carburo de tungsteno sobre costos de mantenimiento en desfibramiento de caña azucarera*. Tesis de Maestría en Ciencias Económicas mención Gestión Empresarial. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.

## 14. APÉNDICES

Como base para el desarrollo de la investigación, se realiza un árbol de problemas, una matriz de coherencia y formatos para recopilación de información, los cuales se presentan a continuación.

Apéndice 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

## Apéndice 2. Matriz de coherencia

No.	Objetivo	Pregunta	Variable
1	Determinar la eficiencia de fabricación del proceso de soldadura SMAW para aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibradora en un ingenio.	¿Cuál es la eficiencia y de fabricación del proceso de soldadura SMAW para aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibradora en un ingenio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de deposición de soldadura</li> <li>• Costo de adquisición.</li> <li>• Falta de mantenimiento o de los equipos.</li> </ul>
2	Definir la eficiencia y de fabricación del proceso de soldadura GMAW para aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibradora en un ingenio.	¿Cuál es la eficiencia y de fabricación del proceso de soldadura GMAW para aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibradora en un ingenio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología del equipo de soldadura</li> <li>• Tipo de material base</li> <li>•</li> </ul>
3	Comparar la eficiencia del proceso SMAW y GMAW para aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibradora en un ingenio que contribuyan en la gestión del mantenimiento.	¿Cuál es la solución económica y productivos para la aplicación de aporte de carburo de tungsteno en martillos de desfibradora en un ingenio que contribuyan a la gestión de mantenimiento?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de fabricación</li> <li>• Tiempo de fabricación</li> <li>• Costo mano de obra</li> <li>• Costo de consumibles</li> </ul>
	Realizar un análisis económico comparativo de tecnología de soldadura SMAW y GMAW utilizados en el aporte de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillos de desfibradora en un ingenio.	¿Qué análisis económico se puede desarrollar para identificar la tecnología adecuada de aportación de carburo de tungsteno en acero A-36 para martillo de desfibradora en un ingenio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis financiero</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Formato 1**

<b>FORMATO CÁLCULO DE PRODUCCIÓN SMAW</b>				
<b>Área:</b>				
<b>Operario:</b>				
<b>Maquina:</b>	Miller Dialarc 250 AC/DC			
<b>Tipo:</b>	SMAW			
<b>Insumo:</b>	Hardface HC-E 5/32"			
Día	Producción planificada		Producción real	
	N° piezas estimadas	Hrs estimadas	N° piezas reales	Hrs reales
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Formato 2**

<b>PARÁMETROS DE SOLDADURA</b>		
<b>Variables</b>	<b>SMAW</b>	<b>GMAW</b>
	<b>E HCE-</b>	<b>HC-O</b>
Diámetro electrodo		
Longitud electrodo		
Polaridad		
Voltaje		
Intensidad de corriente		
Velocidad de aplicación		
Protección gaseosa	N.A	N.A
Peso material consumido		
Peso de material depositado		
Peso de las colillas		
Nº de pases		
Tiempo de finalización		
Tiempo de arco		
Tiempos muertos		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Formato 3**

MÁQUINA	Kg Planificadas	Kg Reales	Eficiencia	Tiempo Planificado	Tiempo Real	Costo Previsto	Costo Invertido	Eficiencia	Productividad
Máquina Miller 1									
Máquina Miller 2									
Máquina Miller 3									
Máquina Flextec 500									

Fuente: elaboración propia.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Fuente: elaboración propia.





## 15. ANEXO

### Anexo 1. Recomendaciones generales soldadura MIG

<b>Metal Base</b>	<b>Gas Inerte</b>	<b>Diámetro Alambre</b>	<b>Amperaje DC - PI</b>
Aluminio y Aleaciones	Argón	0.030"	50 - 150
	Helio - Argón	0.035"	55 - 200
		0.045"	90 - 250
		1/16"	160 - 350
Acero Dulce	CO2	0.030"	50 - 150
	Argón - CO2	0.035"	60 - 180
		0.045"	90 - 200
		1/16"	300 -450
Acero de Baja Aleación	Argón - Oxígeno	0.030"	50 - 150
	Argón CO2	0.035"	75 - 230
		0.045"	100 - 350
		1/16"	300 - 450
Acero Inoxidable	Argón - Oxígeno	0.30"	75 - 150
	Helio-Argón- CO2	0.035"	100 -160
		0.045	140 -310
		1/16"	280 -350
Níquel Aleaciones	Argón	0.035"	100 - 150
	Helio - Argón	0.045"	150 - 260
		1/16"	200 - 400
Bronces	Argón	1/16"	225 - 300
	Helio - Argón	5/64"	275 - 350
Cobre	Argón	1/16"	300 - 470
	Helio - Argón		
Cobre - Níquel	Argón	1/16"	250 - 300
Magnesio Aleaciones	Argón	0.045"	220 - 280
	Helio - Argón	1/16"	240 - 390

Fuente: INFRASAL/OXGASA, (s.f.), *Manual del soldador*. p. 55.