



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

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE: METALIZACIÓN EN CALIENTE E INJERTOS, PARA EL
REACONDICIONAMIENTO DE RUEDAS DENTADAS Y EJES, SIN TRATAMIENTO
TÉRMICO**

Daniel Alejandro Flores Barrios

Asesorado por el Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE: METALIZACIÓN EN CALIENTE E INJERTOS, PARA EL
REACONDICIONAMIENTO DE RUEDAS DENTADAS Y EJES, SIN TRATAMIENTO
TÉRMICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DANIEL ALEJANDRO FLORES BARRIOS
ASESORADO POR EL ING. CARLOS ENRIQUE CHICOL CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García a. i.
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE: METALIZACIÓN EN CALIENTE E INJERTOS, PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE RUEDAS DENTADAS Y EJES, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 10 de abril de 2015.

Daniel Alejandro Flores Barrios

Guatemala, Julio de 2017

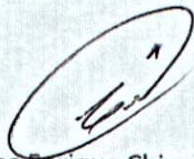
Ingeniero
Roberto Guzmán Ortiz
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Guzmán

Respetuosamente, le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE: METALIZACIÓN EN CALIENTE E INERTOS, PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE RUEDAS DENTADAS Y EJES, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO**, presentado por el estudiante **Daniel Alejandro Flores Barrios** y después de haber realizado las correcciones pertinentes, considero que cumple con los objetivos que le dieron origen.

Por lo tanto, hago de su conocimiento que, en mi opinión, dicho trabajo llena los requisitos necesarios para ser sometido a discusión en su Examen General Público y recomiendo su aprobación para el efecto.

Atentamente,



Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 6965

Ma. Ing. Carlos E. Chicol C.
COL. No. 6965



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.214.2017

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE METALIZACIÓN EN CALIENTE E INJERTOS, PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE RUEDAS DENTADAS Y EJES, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO**, desarrollado por el estudiante **Daniel Alejandro Flores Barrios**, CUI **1633321260101**, Registro Académico **200516302** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, agosto 2017

/aej



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

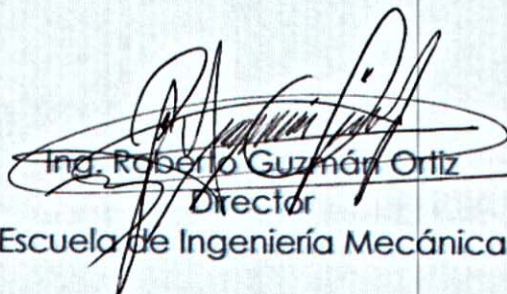
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.239.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE: METALIZACIÓN EN CALIENTE E INJERTOS, PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE RUEDAS DENTADAS Y EJES, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO**, del estudiante **Daniel Alejandro Flores Barrios**, CUI **1633321260101**, **Registro Académico 200516302** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala septiembre de 2017

/aej

Universidad de San Carlos
de Guatemala

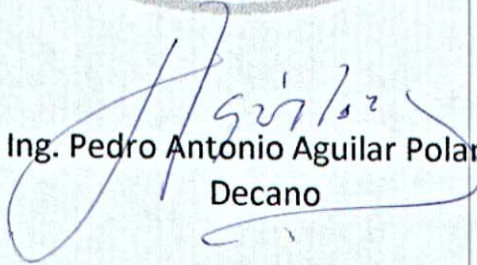


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 394.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE: METALIZACIÓN EN CALIENTE E INJERTOS, PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE RUEDAS DENTADAS Y EJES, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO**, presentado por el estudiante universitario: **Daniel Alejandro Flores Barrios** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Jehová Dios

Por darme la oportunidad de alcanzar este logro profesional dándome como apoyo incondicional a una gran familia a quien amo con todo mi corazón.

Mis padres

Fernando Flores y Elva de Flores, espero este logro llene de satisfacción sus corazones ya que es el fruto de años de esfuerzo, dedicación y confianza depositados en mí, sepan que me siento muy orgulloso y feliz de tenerlos como padres.

Al amor de mi vida

Gaby, quien en las buenas y en las malas nunca dejó de confiar en mí; quiero que sepas que este logro no solo es mío sino tuyo también.

Mis hijos

Aarón y Pablo Flores, que esto sea un ejemplo a seguir en su vida profesional, que nada ni nadie les haga creer que las cosas no pueden lograrse; con esfuerzo y dedicación llegarán hasta donde quieran estar, los amo.

Mis hermanos

Fernando y Jonathan quiero que sepan que siempre pueden contar conmigo. Mis hijos y yo los amamos.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por abrirme las puertas y darme la oportunidad de forjar mi futuro profesional en tan prestigiosa universidad, prometo dar siempre lo mejor de mí para poner en lo más alto esta casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por ser el pilar de mi carrera, siempre en constantes mejoras para el estudiante, gracias por dejarme pertenecer a la que sin duda es la mejor facultad de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Mi asesor

Ing. Carlos Chicol, gracias por el tiempo y dedicación que invirtió en mi persona, quedo eternamente agradecido.

Mis amigos

Sin duda alguna es la familia que uno mismo escoge, a los que creyeron en mí y a los que no. Gracias a Dios son tantos que me costaría enumerarlos, quiero que sepan que siempre van a poder contar conmigo, mis totales agradecimientos ya que sin ustedes este camino hubiese sido mucho más difícil.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Metalización en caliente	1
1.2. Nomenclatura de materiales que se pueden reacondicionar.....	4
1.2.1. Acero 1018	5
1.2.2. Acero 1045	5
1.2.3. Acero 705	6
1.2.4. Hierro fundido	6
1.2.5. Aluminio.....	6
1.2.6. Bronce	7
1.2.7. Acero inoxidable	7
1.2.8. Ertalon	8
1.2.9. Fibra fenólica	8
1.3. Tendencia de solución actual para el reacondicionamiento	9
1.4. Principios para la aplicación de injertos.....	11
2. REACONDICIONAMIENTO POR MEDIO DE METALIZACIÓN EN CALIENTE.....	15
2.1. Método de reacondicionamiento a ruedas dentadas.....	19

2.1.1.	Reacondicionamiento de uno o más dientes de una rueda dentada por medio de arco eléctrico	20
2.1.1.1.	Desgaste lateral del diente	20
2.1.1.2.	Desprendimiento total o parcial del diente.....	21
2.1.2.	Reacondicionamiento de cuñero y agujero interior de rueda dentada por medio de arco eléctrico	23
2.2.	Método de reacondicionamiento a ejes.....	25
2.2.1.	Reacondicionamiento de cuñero por medio de arco eléctrico	28
2.2.2.	Reacondicionamiento de superficies cilíndricas en ejes.....	30
2.3.	Clasificación de varillas de aporte	31
2.3.1.	Clasificación de electrodos para aceros al carbono	32
2.3.2.	Clasificación de electrodos para aceros de baja aleación	35
2.3.3.	Clasificación de electrodos para aceros inoxidable	37
2.3.4.	Clasificación de electrodos para metales no ferrosos	38
2.4.	Amperaje y tipo de corriente	39
3.	REACONDICIONAMIENTO POR APLICACIÓN DE INJERTOS.....	43
3.1.	Aplicación de injertos a ruedas dentadas.....	44
3.1.1.	Sustitución de ajuste de agujero interno de rueda dentada con cuñero.....	45

3.1.2.	Sustitución de uno o más dientes de una rueda dentada.....	47
3.2.	Aplicación de injertos a ejes	50
3.3.	Tipos de ajuste	53
3.3.1.	Campo de tolerancia.....	55
3.4.	Sugerencia y/o recomendaciones	57
4.	ENSAYOS PRÁCTICOS	59
4.1.	Comparación de costos	59
4.2.	Comparación de tiempo.....	63
4.2.1.	Tiempo de reacondicionamiento para un eje	64
4.2.2.	Tiempo de reacondicionamiento para una rueda dentada.....	66
4.3.	Reacondicionamiento de eje por metalización en caliente	69
4.4.	Reacondicionamiento de eje por medio de aplicación de injertos	75
4.5.	Reacondicionamiento a rueda dentada por metalización en caliente	79
4.6.	Reacondicionamiento por aplicación de injerto	83
	CONCLUSIONES	87
	RECOMENDACIONES.....	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Soldadura homogénea.....	2
2.	Soldadura heterogénea.....	3
3.	Comparación de métodos utilizados para el reacondicionamiento de ruedas dentadas y ejes	9
4.	Movimiento de una varilla de aporte	17
5.	Limpieza de superficie para la remoción de escoria e impurezas	18
6.	Desgaste lateral de una rueda dentada	20
7.	Desprendimiento total de un diente de una rueda dentada.....	21
8.	Aplicación de soldadura entre dos dientes de un engrane.....	22
9.	Identificación de un cuñero dañado	23
10.	Aplicación de material de aporte por medio de arco eléctrico	24
11.	Maquinado del cuñero.....	24
12.	Ejemplo de un eje	27
13.	Cuñero desgastado y deteriorado en un eje	29
14.	Equipo de soldadura por arco eléctrico	40
15.	Torneado interno del agujero dañado	45
16.	Anclaje de injerto por medio de cuñero	46
17.	Anclaje de injerto por medio de tornillos de fijación	46
18.	Injerto anclado y terminado	47
19.	Fresado de dientes fracturados o desgastados	48
20.	Fresado de injerto	48
21.	Sujeción del injerto a la rueda dentada	49
22.	Fresado de dientes nuevos	50

23.	Disminución de diámetro y fresado de cuñero	51
24.	Torneado y ajuste de injerto	52
25.	Colocación de pin de seguridad.....	52
26.	Injerto acoplado con cuñero de arrastre	53
27.	Eje central para bomba <i>Warm</i>	70
28.	Aplicación de soldadura sobre superficie dañada.....	71
29.	Aplicación de soldadura sobre superficie dañada.....	72
30.	Acabado final de la metalización en caliente	73
31.	Montaje de eje para su rectificación.....	73
32.	Rectificado de soldadura	74
33.	Acabado final del reacondicionamiento por medio de metalización en caliente	75
34.	Disminución de diámetro en sección dañada	76
35.	Maquinado de barra perforadora	76
36.	Incrustación de injerto a eje	77
37.	Introducción de pin de seguridad.....	78
38.	Rectificación y ajuste de diámetro mayor del eje	78
39.	Eje reacondicionado por medio de aplicación de injerto	79
40.	Rueda dentada de caja <i>Norton</i> para torno <i>South Bend</i>	80
41.	Remoción de dientes dañados	80
42.	Metalización de dientes dañados.....	81
43.	Herramienta básica para reacondicionamiento de rueda dentada por medio de metalización en caliente.....	82
44.	Rueda dentada reacondicionada por medio de metalización en caliente	83
45.	Rueda dentada a reacondicionar por medio de un injerto	83
46.	Fresado de cavidad para el injerto.....	84
47.	Fresado de injerto.....	85
48.	Montaje de rueda dentada a cabezal divisor	85

49. Reacondicionamiento de rueda dentada por aplicación de un injerto .. 86

TABLAS

I.	Materiales utilizados en la fabricación de ejes y ruedas dentadas.....	4
II.	Clasificación del diámetro de un eje y tamaño de cuña recomendada	28
III.	Clasificación de electrodos según su última cifra	34
IV.	Porcentajes de materiales contenidos en el electrodo	35
V.	Clasificación AWS para electrodos	36
VI.	Tolerancia de trabajo.....	56
VII.	Comparación de costos para reacondicionamiento de eje.....	61
VIII.	Comparación de costos para reacondicionamiento de rueda dentada	62
IX.	Comparación de tiempo para el reacondicionamiento de un eje por medio de metalización en caliente y aplicación de un injerto	66
X.	Comparación de tiempo necesario para el reacondicionamiento de una rueda dentada por medio de metalización en caliente y aplicación de un injerto.....	69

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AWS	<i>American Welding Society</i>
ASME	<i>American Society Mechanical Engineers</i>
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continua
cm	Centímetro
ISO	<i>Internartional Standars Organization</i>
kpsi	kilo libras/plg ²
m	Metro
mm	Milímetro
plg	Pulgada
psi	Libra/plg ²
”	Milésimas de pulgada

GLOSARIO

Aleación	Es una combinación de propiedades metálicas compuesta de dos o más elementos metálicos. Las aleaciones están constituidas por elementos metálicos como hierro, aluminio, cobre, plomo, entre otros.
Cuña	Una cuña es un elemento de máquina que se coloca en la interfaz entre el eje y la maza de una pieza que transmite potencia. La cuña es desmontable para facilitar el ensamble y desarmado del sistema de eje. Se instala dentro de una ranura axial que se maquina en el eje, la cual se denomina cuñero. A una ranura similar en la maza de la pieza que transmite potencia se le da el nombre de asiento de la cuña. Si bien, propiamente, es también un cuñero.
Estriado	Es el conjunto de ranuras que sirve para dar arrastre a un elemento mecánico, este puede ser interno o externo.
Injerto	Es la sustitución de secciones específicas de un elemento mecánico que han sufrido deterioro, buscando alargar la vida útil de los elementos.

Maquinabilidad	Propiedad de los materiales que permite comparar la facilidad con la que pueden ser mecanizados por arranque de viruta. La maquinabilidad también puede definirse como el mejor manejo de los materiales y la facilidad con la que pueden ser cortados con una segueta o con una máquina de corte.
Metalización	Es el nombre genérico para una técnica de revestimiento de metal sobre la superficie de objetos.
Polivalente	Que tiene varias funciones o puede desempeñar varias funciones.
Reacondicionamiento	Es el procedimiento mediante el cual se reconstruye o se readecua algo llevándolo a sus condiciones iniciales de funcionamiento.
Rueda dentada	Es un mecanismo de forma circular que transmite movimiento mediante dientes. Los dientes rodean la rueda en todo su perímetro; existen varios tipos de ruedas dentadas dependiendo de su forma y colocación de los dientes: dentadas cónicas, helicoidales, cilíndricas.
Tenacidad	Es la energía de deformación total que puede absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto por acumulación de dislocaciones.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se realiza con el fin de orientar a los usuarios sobre los métodos de reacondicionamiento para ruedas dentadas y ejes, según su tiempo de entrega y costo.

Es importante analizar el escenario en el que el cliente se encuentra para realizar los trabajos de reacondicionamiento de ruedas dentadas y ejes; puede disponer de tiempo, pero no del capital requerido para sufragar los costos de inversión o viceversa. En el mejor de los casos cuando el cliente tenga el tiempo y el costo de inversión no sea un problema, entonces, su decisión debe basarse en cuál de los dos métodos es el más adecuado.

Durante el reacondicionamiento de las piezas por el método de metalización en caliente, estas sufren de cambios en su estructura molecular interna; por lo tanto, es necesario saber las consecuencias del método que pueden afectar en el funcionamiento de la pieza.

Por tal razón, con las herramientas que brinda la ingeniería, se realiza una comparación entre ambos métodos para determinar los factores que el cliente tomará en cuenta para decidir sobre el método que se aplicará a la pieza.

OBJETIVOS

General

Realizar un estudio comparativo entre metalización en caliente e injertos para el reacondicionamiento de ruedas dentadas y ejes sin tratamiento térmico.

Específicos

1. Conocer a través de la teoría los métodos de reacondicionamiento que se estudiarán en esta investigación.
2. Analizar la situación actual sobre cómo los clientes deciden el método para el reacondicionamiento de piezas.
3. Proponer la aplicación de cada método en varios ensayos para determinar sus ventajas y desventajas.
4. Lograr resultados confiables que respalden la recomendación que el área de mantenimiento brinde a la empresa.

INTRODUCCIÓN

El reacondicionamiento de elementos mecánicos se ha convertido en la actualidad en la solución más práctica, rápida y económica de solucionar los problemas dentro del taller de mantenimiento debido a fallas por fatiga, desgaste o fractura.

Los métodos de reacondicionamiento que se practican son varios; sin embargo, las consideraciones a tomar para la selección del método son varias. Los factores más influyentes en la toma de una decisión suelen ser el tiempo y el costo.

El propósito de este trabajo de investigación es practicar ensayos de los métodos metalización en caliente y aplicación de injertos; cronometrar el tiempo de reparación y cotizar su costo para ambos métodos: evaluar las consecuencias, calcular el tiempo de vida además al que se le prolongan a los elementos mecánicos con dichos métodos y calcular costos a largo plazo para definir si la inversión de reparación es viable.

1. ANTECEDENTES

El reacondicionamiento de elementos mecánicos se ha convertido en la actualidad en la solución más práctica, rápida y económica de solucionar los problemas dentro del taller de mantenimiento en donde se producen fallas en ruedas dentadas y ejes producidas por fatiga, desgaste o fractura.

Los métodos de reacondicionamiento que se practican actualmente son pocos, sin embargo, las consideraciones a tomar para la selección del método son varias; los factores más influyentes en la toma de una decisión suelen ser el tiempo para realizar la reparación y el costo de inversión, la decisión final no siempre es la mejor o la recomendada. Por ejemplo: la opción recomendada puede ser costosa y el presupuesto corto o la opción recomendada sea más económica pero el problema en este caso es el factor tiempo.

Con el reacondicionamiento de elementos mecánicos no solo se reduce el tiempo que puede estar detenido un equipo; también, se obtienen los siguientes beneficios: prolongar el tiempo de vida de los elementos mecánicos, la reducción de costos, creación de fuentes de trabajo de forma indirecta, frenar la cantidad de importación de materiales de los proveedores, entre otros.

1.1. Metalización en caliente

La metalización en caliente es el método más utilizado y económico en el reacondicionamiento de elementos mecánicos que sufren desgaste durante la operación de los diversos equipos que operan en la industria.

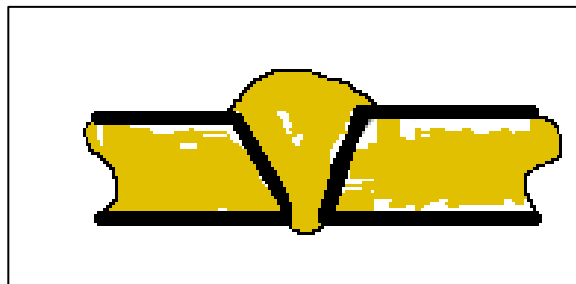
Estas partes o piezas están expuestas a esfuerzos cuyos efectos provocan fenómenos que alteran su estado y el rendimiento inicial que reducen su vida útil.

La metalización en caliente (soldadura) se refiere a unir dos o más metales, asegurando la continuidad de la materia. Para realizar este proceso es necesario producir calor a través del paso de una corriente eléctrica que genera un arco entre el electrodo y la pieza que alcanza una temperatura que varía entre 4 000 °C y 5 000 °C.

Existen dos tipos de soldadura:

- Soldadura homogénea: la cual se realiza cuando el metal de aporte es igual al metal de base.

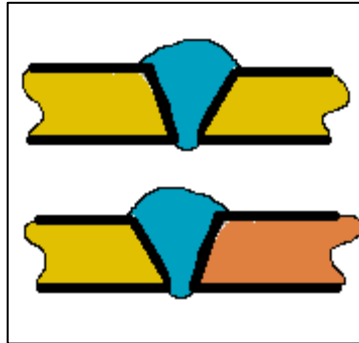
Figura 1. **Soldadura homogénea**



Fuente: *Mecanizado básico*. <http://mecanizadobasico.blogspot.com/>. Consulta: 10 de enero de 2016.

- Soldadura heterogénea: cuando el metal de aporte es diferente al metal de base.

Figura 2. **Soldadura heterogénea**



Fuente: *Mecanizado básico*. <http://mecanizadobasico.blogspot.com/>. Consulta: 10 de enero de 2016.

El arco produce la unión del metal de aporte en forma instantánea y progresiva y del metal base. Durante esta tarea, si se quiere calentar más se aportará más metal y no habrá calentamiento sin aporte.

En soldadura, un circuito simple está formado por una máquina de soldar con dos terminales: uno que corresponde al porta electrodo y el otro a tierra. La corriente circula a través del cable portaelectrodo, el electrodo forma el arco y retorna por el cable de tierra.

La metalización en caliente ha sido por años una de las alternativas más útil y versátil utilizada en la industria para el reacondicionamiento de elementos mecánicos de maquinaria industrial, textil y automotriz, entre otras; su fácil aplicación la convierte, también, en uno de los métodos más económicos encontrados en el mercado posicionándose de esta manera en la opción número uno al momento de elegir o encontrar una solución rápida.

1.2. Nomenclatura de materiales que se pueden reacondicionar

Los ejes y las ruedas dentadas fabricadas de materiales ferrosos pueden ser reacondicionados por medio de metalización en caliente y por aplicación de injertos a diferencia de los materiales no ferrosos que pueden ser reacondicionados solo por aplicación de injertos; el material escogido para su fabricación depende de la aplicación para la cual será utilizada.

A continuación, se detalla una lista de los materiales más utilizados para la fabricación de ejes y ruedas dentadas, también, se detalla con que método se puede reacondicionar.

Tabla I. **Materiales utilizados en la fabricación de ejes y ruedas dentadas**

MATERIAL	TIPO DE RECONDICIONAMIENTO	APLICACIÓN
Acero 1018	Metalización en caliente, Aplicación de injertos.	Industrial, automotriz, imprenta, etc.
Acero 1045	Metalización en caliente, Aplicación de injertos.	Industrial, automotriz, imprenta, etc.
Acero 705	Metalización en caliente, Aplicación de injertos.	Industrial, automotriz, imprenta.
Hierro fundido	Metalización en caliente, Aplicación de injertos.	Industrial.
Aluminio	Metalización en caliente, Aplicación de injertos.	Automotriz, domiciliar, oficina, eléctrico.
Bronce	Metalización en caliente, Aplicación de injertos.	Industrial, imprenta, automotriz.
Acero inoxidable	Metalización en caliente, Aplicación de injertos.	Alimenticia, farmacéutica, industrial.
Ertalon	Aplicación de injertos.	Industrial, automotriz, oficina.
Fibra fenólica	Aplicación de injertos.	Industrial, imprenta.

Fuente: elaboración propia.

1.2.1. Acero 1018

Es el más común de los aceros rolados en frío. Es un producto muy útil debido a sus características típicas de buena resistencia mecánica y buena ductilidad. En términos generales, excelente soldabilidad y mejor maquinabilidad que la mayoría de los aceros al carbón. Puede ser sometida a cementado para tener una superficie dura pero un centro de gran tenacidad. Por su ductilidad puede usarse en procesos de recalado, doblado o estampado.

Se utiliza en la fabricación de partes para maquinaria: automotriz, línea blanca y equipo de proceso que no estén sujetas a grandes esfuerzos. Por su ductilidad es ideal para procesos de transformación en frío como doblar, estampar y recalcar. Sus usos típicos son: flechas, tornillos, pernos, sujetadores; cementado puede ser utilizado en engranes, piñones, entre otros.

1.2.2. Acero 1045

Es el más popular de los aceros al carbón templables, adecuado para todo tipo de aplicaciones donde se requiera soportar esfuerzos por encima de las 87 000 psi o en casos de diámetros mayores donde se necesite una dureza media dentro de los 170 a 206 BHN y un centro tenaz. Aunque su maquinabilidad no es muy buena, esta mejora sensiblemente después del trabajo en frío.

Es un acero no aleado empleado en flechas y partes de maquinaria; adecuado para temple superficial, tornillos, semiejes, cigüeñales, etc. En estas condiciones mejora su maquinabilidad.

1.2.3. Acero 705

Es un acero bonificado al cromo, níquel, molibdeno; altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a la fragilidad del revenido.

Partes de maquinarias sometidas a altos esfuerzos, brazo de dirección, cigüeñales, árboles de leva, barras de torsión, embragues, piñones, barras de cardán, ejes de bombas, ejes para aviones, muñones, pernos de alto grado de tensión, rodillos de transportadora, etc.

1.2.4. Hierro fundido

El hierro gris es uno de los materiales ferrosos más empleados y su nombre se debe a la apariencia de su superficie al romperse. Esta aleación ferrosa contiene en general más de 2 % de carbono y más de 1 % de silicio; además, manganeso, fósforo y azufre. Una característica distintiva del hierro gris es que el carbono se encuentra en general como grafito, adoptando formas irregulares descritas como hojuelas. Este grafito es el que da la coloración gris a las superficies de ruptura de las piezas elaboradas con este material.

1.2.5. Aluminio

La utilización industrial del aluminio ha hecho de este metal uno de los más importantes, en cantidad y en variedad de usos; en la actualidad es un material polivalente que se aplica en ámbitos económicos muy diversos y que resulta estratégico en situaciones de conflicto. Hoy en día, tan solo superado por el hierro/acero. El aluminio se usa en forma pura, aleado con otros metales o en compuestos no metálicos. En estado puro se aprovechan sus propiedades

ópticas para fabricar espejos domésticos e industriales como los de los telescopios reflectores. Su uso más popular, sin embargo, es como papel aluminio, que consiste en láminas de material con un espesor tan pequeño que resulta fácilmente maleable y apto, por tanto, para embalaje alimentario. También, se usa en la fabricación de latas y *tetrabriks*.

1.2.6. Bronce

Bronce es toda aleación metálica de cobre y estaño, en la que el primero constituye su base y el segundo aparece en una proporción del 3 % al 20 %. Puede incluir otros metales.

El bronce fue la primera aleación de importancia obtenida por el hombre y da su nombre al período prehistórico conocido como Edad del Bronce. Durante milenios fue la aleación básica para la fabricación de armas y utensilios; orfebres de todas las épocas lo han utilizado en joyería, medallas y escultura. Las monedas acuñadas con aleaciones de bronce tuvieron un protagonismo relevante en el comercio y la economía mundial.

1.2.7. Acero inoxidable

El acero inoxidable es un acero de elevada resistencia a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales aleantes que contiene poseen gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro. Sin embargo, esta capa puede ser afectada por algunos ácidos, dando lugar a que el hierro sea atacado y oxidado por mecanismos intergranulares o picaduras generalizadas.

Algunos tipos de acero inoxidable contienen, además, otros elementos aleantes: los principales son el níquel y el molibdeno.

1.2.8. Ertalon

El ertalon es de la familia de las poliamidas, también, conocido como nylon, son polímeros semicristalinos.

Este material ofrece una combinación óptima de resistencia mecánica, rigidez, dureza, propiedades de amortiguación mecánica y resistencia al desgaste. Estas propiedades, junto con una buena capacidad de aislamiento eléctrico y una buena resistencia química, hacen del Ertalon 6 SA un producto apropiado para la construcción mecánica de partes y piezas como de mantenimiento.

1.2.9. Fibra fenólica

Material a base de tejido de lino o algodón y resina fenólica que posee buenas cualidades de mecanización, estabilidad dimensional, fortaleza mecánica y eléctrica, resistencia a la humedad y buena dureza.

Se puede utilizar para piñones, engranajes, bocinas, paletas para compresores y como aislante eléctrico.

1.3. Tendencia de solución actual para el reacondicionamiento

El deterioro de ejes y ruedas dentadas implica un gran costo de reemplazo, esto puede evitarse por medio de métodos de reconstrucción. En el caso específico del presente trabajo de graduación plantea la metodología para el reacondicionamiento de ejes y ruedas dentadas.

Actualmente, no se cuenta con normas que especifiquen el procedimiento para realizar reacondicionamientos de elementos mecánicos, ya que los mismos son diseñados y fabricados con un tiempo de vida útil; por tal motivo, debería de remplazarse en lugar de reacondicionarse. Sin embargo, el reacondicionamiento vino a remplazar la sustitución total del elemento.

Luego de realizar un sondeo en el área más industrializada de la ciudad de Guatemala: la zona 12, se logró concluir que la metalización en caliente es actualmente el método líder en reacondicionamiento debido al bajo costo y al tiempo de entrega.

Figura 3. **Comparación de métodos utilizados para el reacondicionamiento de ruedas dentadas y ejes**



Fuente: elaboración propia.

A pesar de ser el método más utilizado, la metalización en caliente es la menos recomendable ya que las altas temperaturas alcanzadas por el material en el proceso alteran la estructura molecular interna de los elementos mecánicos volviéndolos más duros y, como consecuencia, más vulnerables a una fractura, a deformaciones por las altas temperaturas, entre otros.

Como respuesta al cuestionamiento, ¿por qué el método utilizado es la metalización en caliente? La mayoría coinciden en que la decisión final la tiene el cliente, que en su mayoría no está de acuerdo con varios aspectos que conllevan fabricar un injerto, los inconvenientes más frecuentes son:

- Tiempo de espera
- El costo de reacondicionamiento
- Falta de garantías
- Poco conocimiento en relación a la aplicación de un injerto

La metalización en caliente como tal es un método efectivo para muchos dejan que a un lado muchos otros métodos:

- Aplicación de injertos
- Metalización en frío
- Reemplazo total del elemento

En la mayoría de talleres que ofrecen servicios de mantenimiento industrial, metal mecánica (tornos y fresadoras) y trabajos de soldadura, se encuentra personal no calificado o certificado para realizar estas tareas.

Muchos de ellos han aprendido este oficio de una manera empírica lo cual limita el conocimiento de nuevos procesos de reacondicionamiento; tampoco,

cuentan con el conocimiento adecuado para llevar a cabo ciertos procedimientos como la aplicación de soldadura ya que muchos materiales necesitan de una preparación previa a ser expuestas a las temperaturas provocadas por la soldadura.

La falta de preparación previa o ciertos cuidados durante el proceso provocan problemas posteriores a corto plazo que hacen del método poco confiable en las comparaciones o en la toma de decisiones.

1.4. Principios para la aplicación de injertos

El concepto de reacondicionamiento se convirtió esencial en el área de mantenimiento; el reacondicionamiento es el procedimiento mediante el cual se reconstruye o se readecua algo llevándolo a sus condiciones iniciales de funcionamiento; esto repercute en los conceptos de economía de escala que beneficia directamente a las empresas que pueden invertir más en mano de obra calificada.

La aplicación de un injerto a cualquier elemento mecánico puede representar una variedad de ventajas: no se altera la estructura molecular interna del elemento mecánico ya que no se genera ningún cambio de temperatura brusco a diferencia del arco eléctrico que si calienta considerablemente el elemento.

Este tipo de calentamiento puede provocar que el material del elemento mecánico que se está reacondicionando se vuelva más duro y, por consiguiente, más frágil corriendo el riesgo de una fractura parcial más grande o incluso una pérdida total que afectan no solo el proceso que esté efectuando la

máquina sino afectando, también, la producción y los costos de inversión de la empresa.

No necesariamente el material con el cual se va a fabricar un injerto debe cumplir con las características originales del elemento; se puede hacer el cambio por un material más resistente o más suave según sea el caso.

Previo a tomar la decisión del cambio de material se debe analizar el trabajo que el mismo esté realizando ya que muchas veces los elementos mecánicos están fabricados de materiales como ertalon, fibra fenólica, aluminio, etc. Con el fin de proteger elementos más importantes, por ejemplo, en una caja o tren de ruedas dentadas muchas veces una de las ruedas dentadas que da la transmisión está fabricada de material más suave funcionando como un fusible de seguridad; al momento de que el equipo sufra algún bloqueo o algún otro problema en su funcionamiento, esta rueda dentada fallará antes que cualquier otro elemento fabricado de materiales más resistentes que evita que el problema sea más grave.

El cambio, también, puede emigrar a un material más resistente; tomar el caso de una rueda dentada fabricada de fibra fenólica o ertalon en donde se necesita que el dentado de la rueda funcione como fusible de seguridad pero el fallo se da en el cuñero del agujero interno que sirve como arrastre del elemento; fácilmente se puede sustituir el centro de la rueda dentada por un material más resistente como el acero 1018 anclándola al ertalon por medio de un ajuste en el diámetro y dos o tres tornillos según el diámetro de la rueda dentada que consigue una durabilidad significativamente más prolongada del cuñero y del ajuste del agujero manteniendo la función principal: un dentado de ertalon.

Otro motivo por el cual surge la necesidad de injertos es porque el mercado de talleres de metal mecánica no cuenta con la maquinaria y el equipo necesario para trabajar elementos mecánicos de dimensiones grandes. La mayoría de la maquinaria y los equipos de la industria hoy en día son manufacturados en el extranjero dando como resultado el difícil acceso a repuestos de entrega inmediata; de ser encontrados en el *stock* local, los costos son sumamente elevados; en el peor de los casos los equipos que fallan ya se encuentran discontinuados dando como resultado la negativa de las empresas a manufacturar repuestos.

Existen varias formas de sujeción de un injerto que depende de la pericia del mecánico; hasta hoy no hay tablas que brinden información certera con relación a diámetros o tamaño de vaciados para un injerto; lo único que se debe tomar en cuenta es que la sujeción sea firme y segura ya que el desprendimiento de un injerto puede llegar a provocar daños severos al equipo.

En ejes se recomienda que las camisas lleven, aparte de un ajuste adecuado, un pasador de seguridad que evite un movimiento circular y lateral; en una rueda dentada debe llevar como mínimo un ajuste lateral en la cavidad y un tornillo de sujeción con un pin guía o dos tornillos de sujeción y un pin guía según el tamaño del injerto.

Los injertos, también, pueden ser una alternativa muy viable; si se toman en cuenta los costos derivados de la interrupción en la producción contra el tiempo empleado en la reparación no será el mismo que el de remplazo total si se toma en cuenta el tiempo para que la empresa primero verifique la existencia de repuestos, el tiempo que lleve importar el repuesto y el tiempo de su desmontaje y montaje.

2. REACONDICIONAMIENTO POR MEDIO DE METALIZACIÓN EN CALIENTE

Las fallas en elementos mecánicos pueden ocurrir por diversos factores que varían según el tipo de mecanismo; también, por factores externos que aparecen en determinado momento al realizar su trabajo, por ejemplo: sobrecargas sostenidas o momentáneas, mala lubricación, aumento de la temperatura de trabajo, propiedades y calidad del metal, aumento de la potencia a transmitir y otros, sin dejar de mencionar el fallo inevitable debido al desgaste normal en las paredes del diente.

El reacondicionamiento por medio de metalización en caliente (arco eléctrico), funge como el material de aporte que pasa a sustituir el área afectada del elemento mecánico. Para este procedimiento hay que tomar en consideración el material con el cual está fabricado el elemento mecánico que se reacondicionará ya que esto da un indicio para la selección de la varilla de aporte que se puede utilizar.

La facilidad para soldar depende, de cada circunstancia, de sus propiedades físicas y químicas. Especialmente, cuando se hacen trabajos de recuperación, el ingeniero debe identificar el tipo de material base para seleccionar el material de aporte. Se debe contar con métodos confiables, precisos y rápidos para la identificación de materiales, por ejemplo, un ensayo de chispa o un ensayo con herramientas de banco como la lima o un punzón; estos últimos para determinar si el elemento tiene o no algún tipo de tratamiento térmico.

Soldar es más que cubrir una junta con hilo de metal o pegar una pieza con otra. El proceso empieza ajustando y asegurando apropiadamente la pieza que se soldará, tal vez se deba limar un bisel para después rellenarlo con soldadura y así formar una superficie sólida de unión. Dentro del procedimiento básico para el reacondicionamiento de piezas se pueden mencionar las siguientes:

- Producir el arco: es un proceso de crear un arco eléctrico entre la punta de la varilla de aporte (electrodo) y la pieza a trabajar.
- Mover el arco para crear un punto o gota de soldadura: la forma de metal que se produce cuando el electrodo y el metal se funden juntos; de esta manera se rellena el área afectada.
- Dar forma a la soldadura: se realiza moviendo el arco de atrás hacia adelante sobre la zona a soldar, en zigzag o en movimiento de 8. De forma que el metal se distribuya por todo lo ancho del espacio que se debe llenar.
- Pulir y cepillar la soldadura entre una pasada y otra: cada vez que se completa una pasada o vuelta, es necesario que se remueva la escoria o residuo de electrodo derretido que quede en la superficie, de modo que solo quede el metal sólido, esto evita que queden imperfecciones entre una pasada y otra.
- Nunca dejar escoria e impurezas donde se comienza a soldar de nuevo ya que la soldadura quedaría con burbujas, débil y sucia.

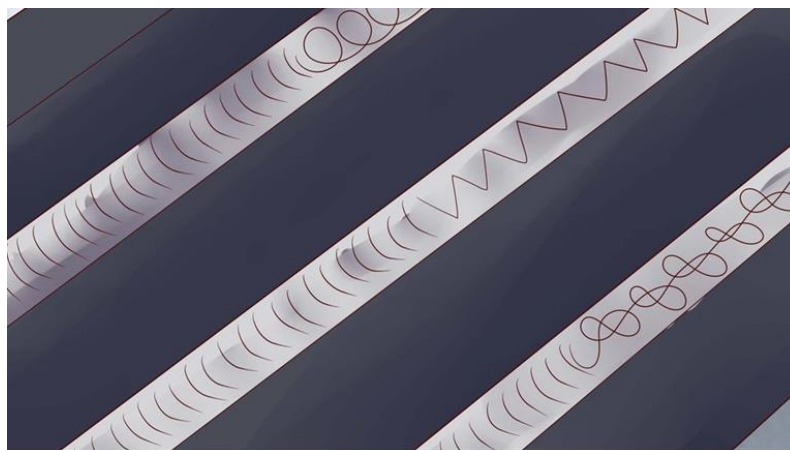
La manera o técnica que se utilice para realizar el llenado puede variar según sea el caso o el espacio a rectificar.

Se utiliza una aplicación en zigzag para crear una soldadura más ancha que permite rellenar más soldadura de una sola pasada, dejando así una soldadura más limpia y en mejor estado.

El electrodo se mueve de lado a lado como si se pintara a través del camino de soldadura o como si se hicieran formas de 8; esto ayuda a llenar espacios más reducidos de una manera más eficaz o simplemente de un lado a otro con un avance lento.

El avance o movimiento de la varilla de aporte no necesariamente está restringido a uno o varios tipos de trabajo; el siguiente gráfico muestra algunos tipos de movimiento de la varilla de aporte.

Figura 4. **Movimiento de una varilla de aporte**



Fuente: *Soldadura de arco metálico*. <http://es.wikihow.com/soldar-con-arco-el%C3%A9ctrico>.

Consulta: 10 de enero de 2016.

Entre capa y capa de aplicación de soldadura es indispensable se limpie ya que la escoria producida por el electrodo puede provocar imperfecciones sobre la superficie: burbujas, mala conducción de corriente o problemas con el acabado final; por esos motivos se recomienda pulir o limpiar con cepillo de alambre cualquier tipo de residuo que se encuentre sobre la superficie.

Figura 5. **Limpieza de superficie para la remoción de escoria e impurezas**



Fuente: *Soldadura de arco metálico*. <http://es.wikihow.com/soldar-con-arco-el%C3%A9ctrico>.
Consulta: 10 de enero de 2016.

En el caso de una rueda dentada, el reacondicionamiento puede sustituir la fractura o desgaste de uno o más dientes, un cuñero en mal estado, deformación en el agujero, desgaste lateral de la rueda dentada, estriado interno, entre otros.

En un eje, el reacondicionamiento puede darse en el ajuste de un cojinete, ajuste para chumacera, cuñero en mal estado, rosca barrida, estriado externo, ajuste para polea, ajuste para rueda dentada, entre otros.

2.1. Método de reacondicionamiento a ruedas dentadas

Una rueda dentada es un mecanismo de forma circular que transmite movimiento mediante dientes que rodean la rueda en todo su perímetro.

Existen diferentes tipos de ruedas dentadas según su forma, colocación de los dientes, etc., por ejemplo: cónicas, helicoidales, cilíndricas, entre otras.

Una rueda dentada o engranaje suele ser reparado o reemplazado comúnmente. El tipo de falla que este elemento sufre puede ser causado por varios motivos: el tiempo de vida útil (esto se representa en el desgaste lateral de cada diente), falta de lubricación, algún tipo de golpe que cause fractura, introducción de cualquier tipo de pieza entre la rotación de dos ruedas dentadas que causan así una fractura.

Cuando la vida útil de una rueda dentada llega al límite se recomienda reemplazarla por una nueva, ya que el trabajo de reacondicionamiento sería tanto que el costo de reparación sería igual o mayor al costo de fabricar una totalmente nueva. El remplazo se haría por seguridad ya que al haber un desgaste lateral entre las dos ruedas dentadas fácilmente puede darse un desfase en la tarea de máquina.

Las fallas de una rueda dentada pueden ser varias y estas pueden tener un proceso de reacondicionamiento que prolongue la vida útil. Las más comunes son: desgaste lateral de uno o más dientes, desprendimiento parcial o total de uno o más dientes, desgaste o deformación del cuñero de arrastre, desgaste o deformación en el diámetro del agujero interno de la rueda dentada.

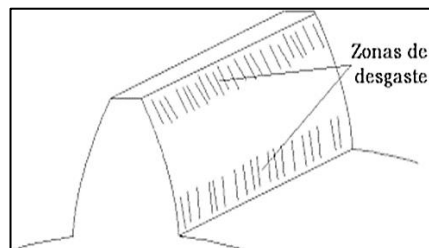
2.1.1. Reacondicionamiento de uno o más dientes de una rueda dentada por medio de arco eléctrico

Cuando uno o más dientes de una rueda dentada fallan puede ser de dos tipos:

2.1.1.1. Desgaste lateral del diente

La falla por desgaste lateral puede ser reacondicionado aplicando uno o más cordones de soldadura en las caras laterales del diente, según sea necesario; para esto hay que tener conocimiento previamente del tipo de material que se está trabajando para así hacer la clasificación adecuada de la varilla de aporte. Con ayuda de un calibrador (*vernier*) se realizan diversas mediciones para conocer cuánto se ha ido ganando de material con la soldadura para determinar si ya es suficiente lo que se ha aportado; debe tomarse en cuenta que los dientes adyacentes, también, serán afectados por el arco eléctrico, por lo tanto, al momento de maquinar hay que fresar el diente afectado y los adyacentes para retirar cualquier tipo de protuberancia que se haya adherido.

Figura 6. **Desgaste lateral de una rueda dentada**



Fuente: *Reparación de grandes engranajes y reductores*. www.fuiberica.com/reparacion-de-engranajes-y-reductores.htm. Consulta: 10 de enero de 2016.

2.1.1.2. Desprendimiento total o parcial del diente

El desprendimiento total o parcial se reacondiciona básicamente de la misma manera; la diferencia es que la cantidad de soldadura es mucho mayor ya que prácticamente el diente será totalmente reemplazado por la varilla de aporte; para lo cual se debe considerar aplicar cordones de soldadura con lapsos de tiempo entre cordón y cordón para evitar el recalentamiento de la rueda dentada ya que esto daña la estructura molecular interna; se debe remover la escoria que se genera cuando aplique soldadura para evitar imperfecciones que causen cráter o agujeros al momento de maquinar el diente nuevo.

Figura 7. **Desprendimiento total de un diente de una rueda dentada**

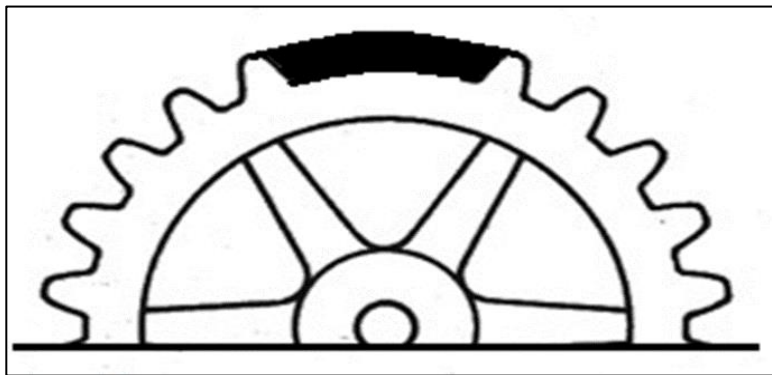


Fuente: *Reparación de grandes engranajes y reductores*. www.fuiberica.com/reparacion-de-engranajes-y-reductores.htm. Consulta: 10 de enero de 2016.

En ambos casos se debe tener la certeza de que la cantidad de soldadura aplicada es suficiente ya que, posteriormente, se realiza el proceso de maquinado cuando se retira el exceso de soldadura; de haber aplicado muy poca soldadura, el diente reacondicionado quedará con imperfecciones, esto provocaría realizar el proceso nuevamente; el proceso recomendado es inundar

ambas ranuras laterales del diente asegurando con esto que al momento de maquinar el diente el material agregado sea suficiente para dar medidas de ancho y alto.

Figura 8. **Aplicación de soldadura entre dos dientes de un engrane**



Fuente: elaboración propia.

La figura 8 ejemplifica la cantidad de soldadura requerida para un buen maquinado. Cabe mencionar que la herramienta de corte (fresa modular según la cantidad de dientes y módulo de la rueda dentada) debe encontrarse en muy buen estado ya que la soldadura presenta ciertas dificultades al momento de fresar si no cuenta con buen filo de ataque. De no contar con buen filo, la herramienta de corte en lugar de cortar tiende a desprender material que afecta la pieza ya que el anclaje de la soldadura puede llegar a fallar si el esfuerzo de corte es muy alto.

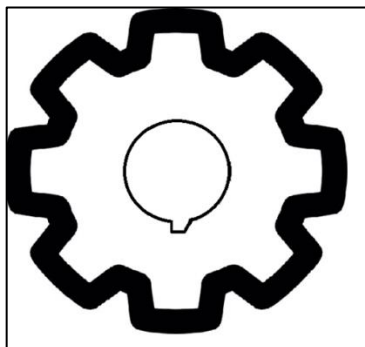
2.1.2. Reacondicionamiento de cuñero y agujero interior de rueda dentada por medio de arco eléctrico

El agujero y cuñero de una rueda dentada también pueden llegar a necesitar de reacondicionamiento, máximo si la rueda dentada es de selección y funge como rueda conductora; el choque y la transmisión constante de movimiento puede llegar a dañar el cuñero o agujero interno.

Otro motivo por los que puede fallar es por mal montaje o por una cuña no adecuada, por ejemplo: cuñeros de $\frac{1}{4}$ de pulgada trabajando con cuñas de 6 mm, cuñeros de 10 mm trabajando con cuñas de $\frac{3}{8}$ de pulgada, etc.

No importa que el motivo causó el daño en la rueda dentada, el objetivo es reacondicionarla, darle de nuevo un ajuste de agujero interno o bien reconstruyendo su cuñero. La idea es depositar cordones de soldadura en el área afectada hasta cubrir el área afectada del agujero, el exceso de material de aporte se retira con una cuchilla de corte o buril en el proceso de maquinado por medio de un torno.

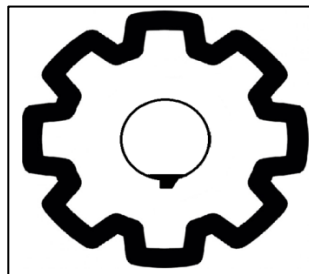
Figura 9. **Identificación de un cuñero dañado**



Fuente: elaboración propia.

Luego de la identificación de un cuñero en mal estado, se debe proceder a la aplicación de material de aporte por medio de arco eléctrico que debe cubrir por completo el área afectada.

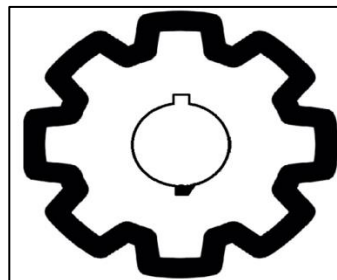
Figura 10. **Aplicación de material de aporte por medio de arco eléctrico**



Fuente: elaboración propia.

Luego del aporte de material, se procede al maquinado del cuñero que por facilidad se recomienda tornearse la soldadura para dar de nuevo el diámetro correcto del agujero; luego, se procede a cepillar el cuñero a 180 grados de la posición original; esto se realiza para evitar trabajar sobre la soldadura ya que tiende siempre a presentar dificultades al momento de trabajar.

Figura 11. **Maquinado del cuñero**



Fuente: elaboración propia.

El tipo de falla de una rueda dentada es impredecible y el procedimiento para el reacondicionamiento depende de las habilidades y conocimientos del operador, en consecuencia, se recomienda aplicar la menor cantidad de soldadura posible, realizar un correcto llenado para realizar el procedimiento completo una sola vez y, de ser posible, descartar maquinar sobre la soldadura aplicada para evitar complicaciones.

Cuando el reacondicionamiento se realiza en la parte del dentado es indispensable el estudio y análisis para seleccionar el tipo de varilla de aporte a utilizar en el proceso; más aún, si se fabricará el diente completo ya que su desprendimiento puede causar un daño mayor a la rueda dentada; incluso, puede dañar considerablemente al elemento mecánico que trabaje con ella ya que el material que pueda desprenderse puede incrustarse en la rodada del engrane provocando con esto un bloqueo que tendrá como resultado el daño de una o ambas ruedas dentadas.

2.2. Método de reacondicionamiento a ejes

Un eje es un elemento mecánico destinado a transmitir movimiento de rotación a una pieza o un conjunto de piezas, regularmente, transmite movimiento a ruedas dentadas, poleas, chumaceras. Un eje se aloja comúnmente utilizando su diámetro exterior en sus extremos alojándose al diámetro interior de un agujero, como el de un cojinete, con el cual tiene un determinado tipo de ajuste. En algunos casos, el eje es fijo (no gira) y un sistema de rodamientos o de bujes gira sobre este. En otros casos, la rueda gira y está unida al eje por medio de cuñeros o castigadores que logran el arrastre que logran con eso que el eje también gire.

El eje es uno de los elementos mecánicos más útiles, versátiles y conocidos en diversas aplicaciones de la mecánica; puede llevar medidas escalonadas para alojamientos de ruedas dentadas, rodamientos y bujes, entre otros. Puede llevar roscas para sujeción de otros elementos o para ser roscados a paredes de maquinaria. Estrillados externos, cuñeros o cuadrados para transmitir movimiento. O simple y sencillamente pueden ser lisos sujetos a cualquier otro elemento por medio de un castigador.

Al igual que muchos otros elementos mecánicos, los ejes pueden ser reacondicionados por medio del arco eléctrico que prolonga su vida útil.

Para un correcto reacondicionamiento de un eje se debe de tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Se debe poseer el conocimiento sobre el tipo de material que se utilizó para la fabricación del eje; permite una buena y adecuada elección de la varilla de aporte.
- Aplicar cordones cortos y de manera cruzada, con esto se logra que la temperatura se distribuya uniformemente sobre el diámetro del eje.
- Retirar la escoria que se forma al terminar de aplicar un cordón que puede provocar imperfecciones en la soldadura superior.
- Procurar no sobrecargar de soldadura el área afectada; provoca un recalentamiento innecesario del eje y más trabajo al momento de rectificar las medidas.

- Si el área afectada es mayor a $\frac{2}{3}$ de la longitud total del eje se recomienda tomar en consideración su remplazo ya que la soldadura a aplicar sería demasiada.
- El amperaje seleccionado debe ser acorde al diámetro de la varilla de aporte para evitar que la gota sea más profunda de lo necesario o en su defecto no sea suficiente amperaje para que se fundan de manera correcta.

Figura 12. **Ejemplo de un eje**



Fuente: *Reparación de grandes engranajes y reductores*. www.fuiberica.com/reparacion-de-engranajes-y-reductores.htm. Consulta: 10 de enero de 2016.

En la figura 12 se ejemplifica un eje con varias formas que puede adoptar en un mecanismo; la rueda dentada puede ir fresada directamente sobre el diámetro del eje o puede estar sujeta al eje por medio de un ajuste de agujeros con arrastre por medio de una cuña y con dos castigadores de seguridad para evitar cualquier tipo de movimiento; ejemplifica, también, una forma escalonada y un cuñero para el arrastre de cualquier otro tipo de elemento mecánico; cuenta, también, con un ajuste en el extremo izquierdo que puede ser útil para un cojinete o chumacera.

2.2.1. Reacondicionamiento de cuñero por medio de arco eléctrico

El cuñero es el método más común y eficaz a utilizar como método de arrastre que consiste en un cuadrado que va sujeto al eje en un 50 % de su altura y un 50 % sujeto al elemento al que se le desea transmitir movimiento. La clasificación de la medida de la cuña va de la mano con el diámetro del eje.

Tabla II. **Clasificación del diámetro de un eje y tamaño de cuña recomendada**

Diámetro del eje en plg.	Tamaño del cuadrado en plg.
$1/2 - 3/4$	$3/16$
$7/8 - 1 \frac{1}{8}$	$1/4$
$1 \frac{3}{8} - 1 \frac{1}{2}$	$5/16$
$1 \frac{3}{8} - 2$	$3/8$
$2 \frac{1}{2} - 3$	$1/2$

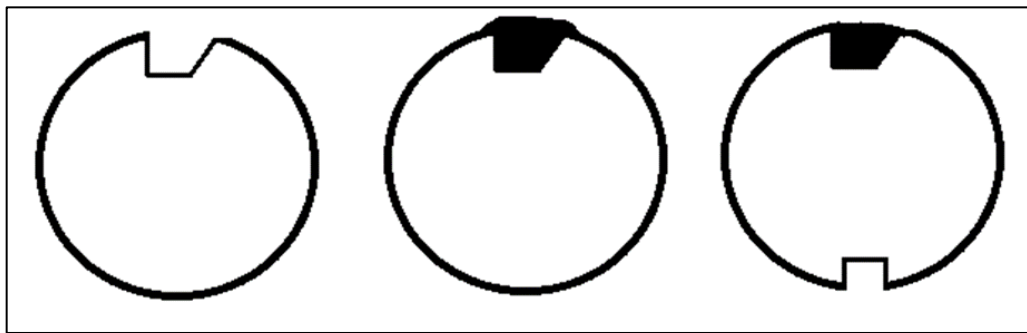
Fuente: elaboración propia.

El cuñero de un eje puede fallar por varios motivos; un claro ejemplo puede ser el montaje de los elementos mecánicos con una cuña no adecuada que provoca un golpe contra las paredes del cuñero cada vez que el equipo se pone en funcionamiento que provoca la deformación del cuadrado donde va alojada la cuña; con el tiempo la cavidad de la cuña está tan dañada que provoca un juego entre el eje y el otro elemento que esté montado en este. Este

juego se representa con ruido o golpeteo, vibración, daños a terceros elementos si no es detectado y corregido a tiempo.

Un cuñero en mal estado puede no solo dañar el eje, también, provocar algún tipo de defecto en la producción, por ejemplo, en una máquina de impresión de dos o más colores puede existir un corrimiento entre cada color o línea de diseño que provocan el rechazo del lote que se haya impreso.

Figura 13. **Cuñero desgastado y deteriorado en un eje**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 13 se aprecia un cuñero en mal estado, por lo general, es una de las paredes la que muestra deformación; en algunos casos puede ser de ambos lados de la cavidad. También, muestra un llenado por medio de arco eléctrico, que se ocupa de llenar toda el área afectada para poder así tornearse y poder darle el diámetro original de nuevo. En la secuencia denota el área rectificadora y el fresado de una nueva cavidad para el alojamiento de la cuña, es recomendable cambiar de posición el cuñero para evitar trabajar sobre la soldadura y evitar inconvenientes que pueda provocar.

Este ejemplo permite cambiar de posición el cuñero. En algunos casos, el problema se da en un estrillado externo que limita el cambio de posición de la cuña; por tal motivo, se tiene que efectuar el llenado del área afectada y proceder a fresar sobre la soldadura para dar la forma original.

Cuando el problema se presenta en un eje con estrillado externo con pocas ranuras, el procedimiento de llenado puede ser efectuado de la misma manera que un cuñero sencillo; pero, si el estrillado está fabricado con varias ranuras, es posible que el llenado de la ranura afectada invada las ranuras siguientes teniendo que rectificar más de una ranura. Puede presentarse el caso también, que sea más de una ranura la afectada teniendo que llenar todas las áreas afectadas. Para este caso varía, únicamente, la manera de rectificar la soldadura es que el fresado sea uniforme, se tendría que utilizar un cabezal divisor que permita dividir de manera correcta la circunferencia del eje.

2.2.2. Reacondicionamiento de superficies cilíndricas en ejes

A un eje se le puede maquinar cualquier medida sobre su diámetro para dar ajuste a rodamientos, chumaceras, bujes o como ajuste para la sujeción de otro elemento mecánico. Estos ajustes pueden dañarse por un mal montaje o por esfuerzos muy grandes causados por sobredimensionamiento.

La soldadura debe aplicarse sobre toda la superficie dañada de forma cruzada y con intervalos de tiempo hasta terminar el llenado con el fin de que la temperatura se disipe de forma uniforme; este tipo de falla no amerita demasiada cantidad de soldadura ya que no se están llenando deformidades ni cavidades. Por el mismo motivo, se debe aplicar la soldadura de una manera concisa para evitar que quede algún cráter o áreas vacías que provoquen que el nuevo ajuste no cumpla las horas de trabajo esperado.

2.3. Clasificación de varillas de aporte

Las varillas de aporte o varillas de soldar son las encargadas de suministrar metal de relleno a la unión soldada mediante un arco eléctrico. Existen diferentes tipos de varillas y hay varias formas de clasificarlas. La mayoría de los trabajos de soldar en los hogares, granjas y fábricas implica la unión de metales ferrosos con varillas de soldar (electrodos) hechas de acero o hierro de bajo carbono.

Los tipos básicos de varilla son de metal descubierto, revestidas de fundente ligero y pesado. Los compuestos del fundente mantienen el oxígeno alejado de la soldadura y eliminan las impurezas metálicas. También, se pueden distinguir las varillas por el diámetro del núcleo de metal expresado en fracciones de una pulgada, la fuerza de tensión de la varilla y el tipo del recubrimiento fundente.

La Sociedad Norteamericana de Soldar tiene un sistema de numeración para la identificación de las varillas de soldar; el sistema utiliza una letra de prefijo y el número de cuatro dígitos. La letra del prefijo E identifica las varillas destinadas para soldar por arco eléctrico. El número de cuatro dígitos identifica la fuerza de tensión de la varilla, si puede ser utilizada vertical o solo horizontalmente, el tipo de revestimiento del fundente y de corriente (CA o CC).

Este número es utilizado junto con un diámetro de núcleo para varillas de soldar de propósito general. El sistema de clasificación tiene otros códigos para la identificación de las varillas de soldar especializadas.

La selección del tipo de varilla de soldar no es regida por una regla simple, la selección de la varilla depende de las propiedades del metal que se unirá, el

tipo de arco de soldar (CA o CC) y la posición de la soldadura (horizontal o vertical). *American Welding Society (AWS)* y a la *American Society Mechanical Engineers (ASME)* son las máximas autoridades en el mundo de la soldadura que dictan las normas de clasificación de los electrodos para soldadura eléctrica.

Una varilla para soldar o de metal de relleno ayuda a fundir o soldar dos metales. Las varillas de soldadura están disponibles en diferentes tipos y se utilizan para diferentes propósitos. La elección de la varilla correcta es el factor principal para determinar el éxito de una soldadura y la resistencia de la junta.

Existen cuatro tipos de varillas: barras cubiertas, varillas tubulares, electrodos desnudos de soldadura y fundentes de soldadura. Una mala elección dará como resultado una soldadura demasiado dura, demasiado blanda, frágil o que se desgarre fácilmente.

2.3.1. Clasificación de electrodos para aceros al carbono

La norma AWS A5.1, especifica que los electrodos para soldadura de aceros al carbono, trabajan con la siguiente nomenclatura para electrodos revestidos:

- E XXYZ - 1 HZR

Dónde: E, indica que se trata de un electrodo para soldadura eléctrica manual; XX, son dos dígitos (o tres si se trata de un número de electrodo de cinco dígitos) que designan la mínima resistencia a la tracción, sin tratamiento

térmico postsoldadura, del metal depositado, en kpsi. Como se indican en los ejemplos siguientes:

- E 60XX ... 62 000 lb/plg² mínimo (62 kpsi)
- E 70XX ... 70 000 lb/plg² mínimo (70 kpsi)
- E110XX ... 110 000 lb/plg² mínimo (110 kpsi)

El tercer dígito indica la posición donde se puede soldar satisfactoriamente con el electrodo. Por ejemplo, si es 1 como el electrodo E6011 significa que el electrodo es apto para soldar en todas posiciones (plana, vertical, techo y horizontal); si tiene un número 2 solo es aplicable para posiciones planas y horizontal; si tiene el número 4 (por ejemplo, E 7048) indica que el electrodo es conveniente para posición plana, pero especialmente apto para vertical descendente.

La letra Z, el último dígito, que está íntimamente relacionado con el anterior, indica el tipo de corriente eléctrica y polaridad en la que mejor trabaja el electrodo e identifica a su vez el tipo de revestimiento que es calificado según el mayor porcentaje de materia prima contenida en el revestimiento. Por ejemplo, el electrodo E 6010 tiene un alto contenido de celulosa en el revestimiento, aproximadamente un 30 % o más, por tal razón, a este electrodo se le califica como un electrodo tipo celulósico.

Tabla III. **Clasificación de electrodos según su última cifra**

Última cifra	Tipo de corriente	Tipo de Revestimiento	Tipo de Arco	Penetración
E XX10	CCPI Polaridad inversa	Orgánico ⁽¹⁾	Fuerte	Profunda ⁽²⁾
E XX11	CA ó CCPI Polaridad inversa	Orgánico	Fuerte	Profunda
E XX12	CA ó CCPD Polaridad directa	Rutilo	Mediano	Mediana
E XX13	CA ó CC Ambas polaridades	Rutilo	Suave	Ligera
E XX14	CA ó CCPI Polaridad inversa	Rutilo	Suave	Ligera
E XX15	CCPI Polaridad inversa	Bajo Hidrógeno	Mediano	Mediana
E XX16	CA ó CCPI Polaridad inversa	Bajo Hidrógeno	Mediano	Mediana
E XX17	CCPI Polaridad inversa	Bajo Hidrógeno	Suave	Mediana
E XX18	CA ó CCPI Polaridad inversa	Bajo Hidrógeno	Mediano	Mediana

Fuente: Servicios de informática en la nube. *Empiece a crear en AWS*. www.aws.com. Consulta: 26 de marzo de 2016.

Por otro lado, los códigos para la designación después del guion son opcionales e indican lo siguiente:

- El número 1 designa que el electrodo (E 7016, E 7018 o E 7024) cumple con los requisitos de impacto mejorados E y de ductilidad mejorada en el caso E 7024.
- Las letras HZ indican que el electrodo cumple con los requisitos de la prueba de hidrógeno difusible para niveles de Z de 4.8 o 16 ml de H₂ por 100 gr de metal depositado (solo para electrodos de bajo hidrógeno).

- La letra R indica que el electrodo cumple los requisitos de la prueba de absorción de humedad a 80 °F y 80 % de humedad relativa (solo para electrodos de bajo hidrógeno).

2.3.2. Clasificación de electrodos para aceros de baja aleación

La norma AWS A5.5. que aplica en los electrodos para soldadura de aceros de baja aleación utiliza la misma designación de la AWS A5.1. Con excepción de los códigos para designación que aparecen después del guion opcionales. En su lugar, utiliza sufijos que constan de una letra o de una letra y un número (por ejemplo, A1, B1, B2, C1, G, M), que indican el porcentaje aproximado de aleación en el depósito de soldadura, de acuerdo a la tabla IV:

Tabla IV. **Porcentajes de materiales contenidos en el electrodo**

A1	0.5% Mo
B1	0.5% Cr, 0.5% Mo
B2	1.25% Cr, 0.5% Mo
B3	2.25% Cr, 1.0% Mo
B4	2.0% Cr, 0.5% Mo
B5	0.5% Cr, 1.0% Mo
C1	2.5% Ni
C2	3.25% Ni
C3	1.0% Ni, 0.35% Mo, 0.15% Cr
D1 y D2	0.25-0.45% Mo, 1.75% Mn
G(*)	0.5% mín. Ni, 0.3% mín. Cr, 0.2% mín Mo, 0.1% mín. V, 1.0% mín Mn

Fuente: Servicios de informática en la nube. *Empiece a crear en AWS*. www.aws.com. Consulta: 26 de marzo de 2016.

En la tabla V se encuentra un resumen donde se indica el tipo de corriente y revestimiento del electrodo según la norma AWS.

Tabla V. **Clasificación AWS para electrodos**

Clasificación AWS	Tipo de Revestimiento	Posición de soldeo	Corriente eléctrica
E 6010	Alta celulosa, sodio	F, V, OH, H	CC (+)
E 6011	Alta celulosa, potasio	F, V, OH, H	CA ó CC(+)
E 6012	Alto titanio, sodio	F, V, OH, H	CA, CC (-)
E 6013	Alto titanio, potasio	F, V, OH, H	CA, CC (+) ó CC (-)
E 6020	Alto óxido de hierro	H-Filete	CA, CC (-)
E 6020	Alto óxido de hierro	F	CA, CC (+) ó CC (-)
E 7014	Hierro en polvo, titanio	F, V, OH, H	CA, CC (+) ó CC (-)
E 7015	Bajo hidrógeno, sodio	F, V, OH, H	CC (+)
E 7016	Bajo hidrógeno, potasio	F, V, OH, H	CA ó CC (+)
E 7018	Bajo hidrógeno, potasio, hierro en polvo	F, V, OH, H	CA ó CC (+)
E 7018M	Bajo hidrógeno, hierro en polvo	F, V, OH, H	CC (+)
E 7024	Hierro en polvo, titanio	H-Filete, F	CA, CC (+) ó CC (-)
E 7027	Alto óxido de hierro, hierro en polvo	H-Filete	CA, CC (-)
E 7027	Alto óxido de hierro, hierro en polvo	F	CA, CC (+) ó CC (-)
E 7028	Bajo hidrógeno, potasio	H-Filete, F	CA ó CC (+)

Fuente: Servicios de informática en la nube. *Empiece a crear en AWS*. www.aws.com. Consulta: 26 de marzo de 2016.

Según las normas AWS las posiciones de soldeo son:

- F: plana
- H: horizontal
- H-Filete: filete horizontal
- V-Descendente: vertical descendente
- V: vertical
- OH: techo o sobre cabeza

2.3.3. Clasificación de electrodos para aceros inoxidables

La normativa AWS A5.4 describe la clasificación de electrodos para soldar aceros inoxidables. Como los casos anteriores, el sistema de clasificación de estos electrodos también es numérico.

Muestras de clasificación de estos tipos de electrodos son los electrodos E 308-15 o E 310-16. Los aceros inoxidables deben ser correctamente identificados de acuerdo con lo que indica las normas AISI.

Por ejemplo, el acero inoxidable AISI 310 corresponde a un acero cuya composición química es del 25 % de Cr y el 20 % de Ni, entre sus elementos principales.

La especificación AWS A5.4, que se refiere a los electrodos para soldadura de aceros inoxidables, trabaja con la siguiente designación para electrodos revestidos:

E XXX-YZ

Donde:

- La letra E indica que se trata de un electrodo para soldadura por arco.
- Los dígitos siguientes XXX indican la numeración correspondiente a la clase AISI de acero inoxidable, para el cual está destinado el electrodo.

- El penúltimo dígito representado por la letra Y indica la posición en que puede utilizarse. Como lo es el caso de los electrodos E 308-15 o E 310-16; el número 1 indica que el electrodo es apto para todas las posiciones.
- El último dígito representado por la letra Z, que en los ejemplos anteriores coincide con los números (5 y 6), señala el tipo de revestimiento, la clase de corriente y la polaridad a utilizarse, en la forma siguiente:
 - Número 5: el electrodo tiene un revestimiento alcalino que debe utilizarse únicamente con corriente continua y polaridad inversa (el cable del porta-electrodo al polo positivo).
 - Número 6: el electrodo tiene un revestimiento de titanio que podrá emplearse con corriente alterna o corriente continua. En caso de utilizarse con corriente continua debe ser con polaridad inversa (el cable del porta-electrodo al polo positivo).

En algunos casos, en la nomenclatura del electrodo aparece un índice adicional al final con las letras ELC, que significa que el depósito del electrodo tiene un bajo contenido de carbono (E: extra; L: bajo/*low*; C: carbono).

2.3.4. Clasificación de electrodos para metales no ferrosos

La especificación AWS A5.15 dicta las normas de clasificación de electrodos para soldar metales no ferrosos.

En este caso, el sistema de clasificación de estos electrodos es simbólico, es decir, indica el símbolo químico del elemento o elementos metálicos predominantes en el análisis del núcleo metálico del electrodo.

El sistema utiliza el prefijo E que significa que el producto es un electrodo para soldar, seguido de los elementos considerados significativos.

Por ejemplo, E, Cu, Sn, A, indican que el electrodo está compuesto básicamente de cobre (Cu) y estaño (Sn).

Por último, el caso concreto para soldadura de hierro fundido, la denominación del electrodo termina con las letras CI. Por ejemplo, E ni-CI, E ni Fe-CI.

2.4. Amperaje y tipo de corriente

En soldadura, la varilla para soldar comúnmente conocida como electrodo, es un alambre metálico con una capa química llamada flujo. La varilla de soldadura mantiene el arco voltaico y, además, provee el metal de relleno necesario para que la soldadura quede unida permanentemente. Como estas varillas se alimentan de corrientes eléctricas a través de la máquina soldadora, ajustar la corriente o el amperaje adecuado es crítico para asegurar un proceso exitoso de soldadura y una unión fuerte entre los metales.

Figura 14. **Equipo de soldadura por arco eléctrico**



Fuente: *¿Cómo soldar con arco eléctrico?* <http://es.wikihow.com/soldar-con-arco-el%C3%A9ctrico>. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Para una correcta soldadura se debe seguir los siguientes pasos:

- Identificar el tipo de técnica de soldadura que requiere el uso de corrientes eléctricas para comenzar el arco con una varilla de soldadura, por ejemplo, la soldadura por arco voltaico.
- Determinar el tipo de material que se está soldando para escoger la varilla adecuada que tienen que ser del mismo material.
- Elegir el tipo de varilla de soldadura con base en el material a soldar, teniendo en cuenta el diámetro, la conductividad eléctrica y probablemente la fuerza de tensión marcada en el electrodo. Por ejemplo, una varilla de soldadura puede estar identificada como 1/8 E6011 que significa que es de 1/8 de pulgada (0,3 cm) de diámetro, E demuestra que es un electrodo, 60 indica la fuerza de tensión y 1 representa la posición en la que debe ser utilizado.

- Observar los últimos dos dígitos juntos 1/8 E60XX para indicar el tipo de cobertura utilizada en la varilla y la corriente de soldadura que se utiliza con esta. Utiliza corriente directa (DC), derecha (DC-), reversa (DC+) o corriente alterna (AC) según lo indicado en la varilla para seleccionar el amperaje.
- Regular el selector de corriente o una opción similar para seleccionar el rango de amperios una vez que haya identificado todos los parámetros necesarios para la soldadura. Por ejemplo, una varilla de soldadura con un diámetro de 1/16 utiliza un rango de amperios entre 20 y 40.

El tipo de corriente puede ser corriente alterna (CA) o corriente directa (CD), el amperaje o amps. Es un término eléctrico utilizado para describir el nivel de flujo de corriente que se suministra al electrodo

Cuando se realizan las soldaduras con corriente alterna (CA), no se tiene polaridad definida de ninguno de los dos electrodos. En cambio, al realizarla con corriente continua (CC), existe un sentido único de circulación de corriente y los efectos de la polaridad sobre la soldadura son muy evidentes. Por lo general, la polaridad que se adopta en CC es la inversa, la cual polariza al electrodo positivamente (+) respecto a la pieza.

Con esta polaridad, el electrodo absorbe más temperatura que la pieza, el arco comienza de una manera más pronta y permite utilizar menor amperaje y un arco más corto. Con la polarización inversa se tiene menor penetración que con la polarización directa. La polarización directa polariza negativamente el electrodo respecto a la pieza. Se utiliza solo para algunos procesos particulares. Existen algunos electrodos que pueden ser utilizados en CC con polarización directa o inversa indistintamente (llamados CA/CC), mientras que otros son aptos solo para corriente continúa directa.

3. REACONDICIONAMIENTO POR APLICACIÓN DE INJERTOS

El reacondicionamiento por aplicación de injertos no es más que una sustitución de material que se puede anclar al elemento mecánico reacondicionado de varias formas, eso depende de las dimensiones de injerto o del tipo de trabajo que se realizará, puede tener una sujeción por medio de un ajuste para trabajo ligero o puede tener una sujeción por medio de un ajuste y de un pasador para trabajo pesado. La sustitución puede darse en ajustes de rodamientos, ajuste de chumaceras, ajuste de bujes, una rosca en mal estado, sustitución de dientes en ruedas dentadas, ajuste de agujeros en mal estado, fracturas de ejes, etc.

La sustitución en ruedas dentadas puede darse en el dentado exterior (desprendimiento total o parcial de uno o más dientes), estrillado interno (ya sea de una o más ranuras que trabajen como arrastre) o simple, mente como una camisa que sustituya un ajuste de diámetro interno en mal estado. En el caso de un eje puede sustituir un ajuste en mal estado por medio de una camisa, una rosca barrida, incluso un estrillado externo.

En algunos casos, el injerto suele ser de materiales con características diferentes al original para evitar un deterioro prematuro del injerto; a veces, el injerto puede sustituirse por materiales menos resistentes con el fin de que el resto de elementos que constituyen al mecanismo se vean protegidos. En este caso, se descartan injertos en elementos que cuenten con algún tipo de tratamiento térmico ya que la tarea de modificación de diámetros o la perforación de agujeros para la sujeción del injerto sería considerablemente

más dificultoso a tal grado que sería más rentable la sustitución total del elemento dañado.

En la mayoría de los casos, un injerto es la opción más económica en una proyección costo beneficio a futuro; a diferencia, del reacondicionamiento por medio de arco eléctrico. La aplicación de un injerto da como beneficio la reducción de costos en un reacondicionamiento de la misma área afectada a futuro; es decir, la rueda dentada o eje queda lista para un cambio de injerto ya que la cavidad y el tipo de anclaje no deberían verse dañados al momento de alguna falla. En términos económicos el costo sería únicamente el de la fabricación del injerto, a diferencia de la primera vez cuando el costo es la preparación del elemento mecánico para recibir un injerto y el costo del injerto como tal.

3.1. Aplicación de injertos a ruedas dentadas

La aplicación de un injerto a una rueda dentada es una técnica poco usada y que realmente llena todas las cualidades que debe tener un reacondicionamiento que evita fácilmente el remplazo total de un elemento mecánico. Esta técnica reduce los inconvenientes cuando las ruedas dentadas son de dimensiones grandes, por ejemplo: maquinaria de ingenios e industria tipográfica en la que el diámetro de las ruedas dentadas excede incluso un metro de diámetro que limita considerablemente las opciones de talleres que pudieran prestar el servicio para algún tipo de reparación.

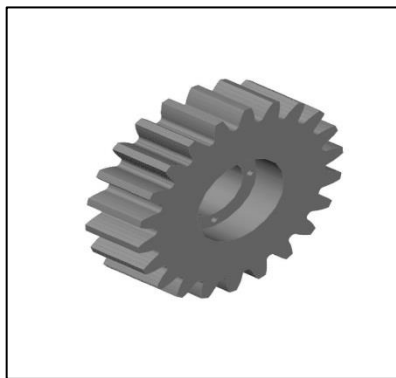
3.1.1. Sustitución de ajuste de agujero interno de rueda dentada con cuñero

Una rueda dentada puede sufrir daños en el diámetro interno por una o varias razones; en este caso, las causas que provocaron el daño no son de importancia ya que lo que interesa es su reacondicionamiento.

A continuación, se detallan los pasos más importantes para la sustitución de ajuste interno de rueda dentada con cuñero:

- Primero se debe de centrar la rueda dentada con un salto menor a 0,01 de pulgada que evita que el injerto tenga algún tipo de salto que pueda perjudicar el trabajo que efectúa la rueda dentada.
- Se debe tornearse el diámetro interno de la rueda dentada lo suficiente para que el injerto tenga la masa necesaria para los tornillos de sujeción y la elaboración del nuevo cuñero.

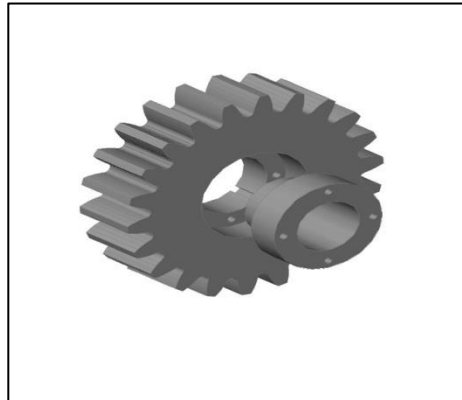
Figura 15. **Torneado interno del agujero dañado**



Fuente: elaboración propia.

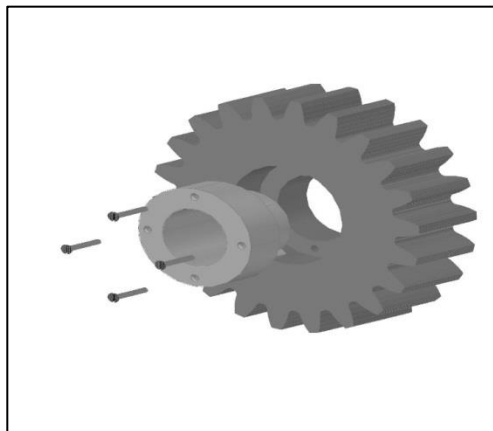
- Con el diámetro del agujero interno modificado se realiza el cepillado de un cuñero que servirá como método de arrastre dejando a los tornillos de fijación solo como anclaje y no como arrastre del injerto.

Figura 16. **Anclaje de injerto por medio de cuñero**



Fuente: elaboración propia.

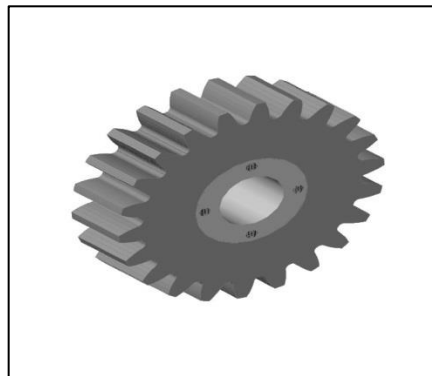
Figura 17. **Anclaje de injerto por medio de tornillos de fijación**



Fuente: elaboración propia.

- Se fabrica el injerto que ya está ilustrado en las figuras 16 y 17; debe tener un ajuste externo que trabaje con el ajuste interno modificado que tendrá la rueda dentada y un ajuste del agujero interno que trabajará como medida original; así mismo, se debe fresar un cuñero externo en el injerto que trabaje junto con el cuñero interno del ajuste modificado de la rueda dentada y un cuñero en el ajuste interno del injerto que trabaje como arrastre original.

Figura 18. **Injerto anclado y terminado**



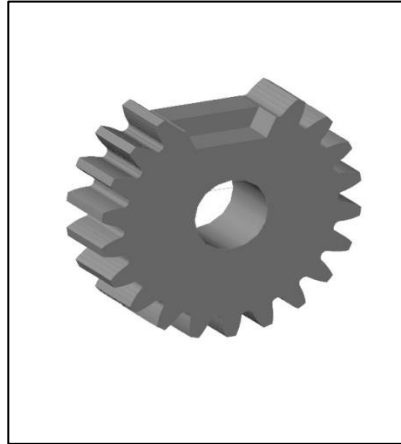
Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Sustitución de uno o más dientes de una rueda dentada

El trabajo que debe realizarse para la correcta sustitución de uno o más dientes de una rueda dentada varía según el operario, básicamente, los pasos más importantes son los siguientes:

- El método más sencillo es fresando una cavidad que abarque la cantidad de dientes a sustituir, con una profundidad del 50 % de su espesor.

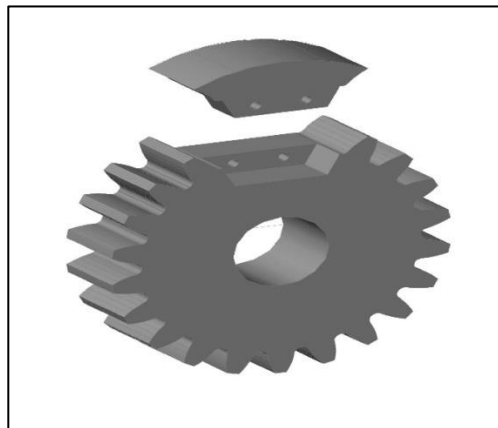
Figura 19. **Fresado de dientes fracturados o desgastados**



Fuente: elaboración propia.

- Fresar un injerto con las dimensiones ajustadas a las medias de la cavidad que se fresó sobre la rueda dentada con la finalidad de que no quede juego.

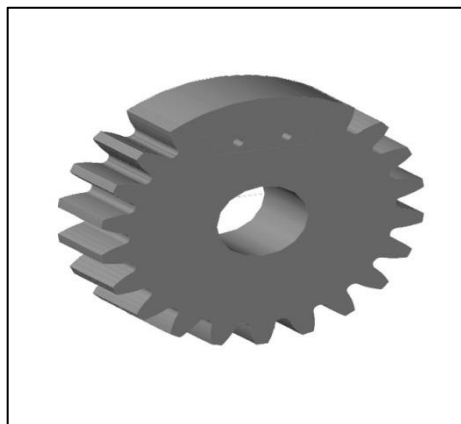
Figura 20. **Fresado de injerto**



Fuente: elaboración propia.

- El injerto no tendrá movimiento lateral ya que la pared de la cavidad en la rueda dentada se lo impedirá; para la sujeción del injerto deben perforarse uno o dos agujeros para roscar el injerto y convertirlos en una sola pieza lista para el fresado de los dientes.

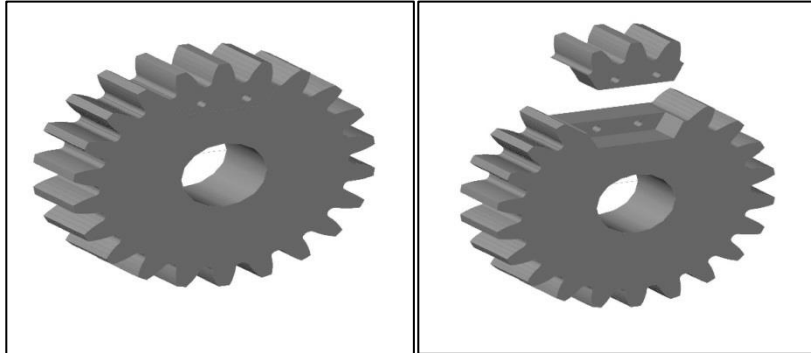
Figura 21. **Sujeción del injerto a la rueda dentada**



Fuente: elaboración propia.

- Sujeto firmemente el injerto a la rueda dentada, se procederá a fresar los dientes reemplazados con ayuda de un cabezal divisor y una fresa modular según el tipo de diente de la rueda; el injerto es totalmente independiente del resto de la rueda dentada y de verse dañado algún diente del injerto en el futuro deberá reemplazarse únicamente el injerto dejando la rueda preparada para el cambio de injerto para reducir considerablemente el tiempo y el costo del reacondicionamiento.

Figura 22. **Fresado de dientes nuevos**



Fuente: elaboración propia.

3.2. Aplicación de injertos a ejes

Al igual que con una rueda dentada, la aplicación de un injerto a un eje representa un costo beneficio a futuro; puede disminuir considerablemente los efectos secundarios que pueda tener cualquier otro tipo de reacondicionamiento ya que no requiere de exposición a altas temperaturas ni a cambios de estructura molecular interna; básicamente, el proceso es el mismo: el remplazo de un ajuste de rodamiento, chumacera, ajuste de bujes, entre otros.

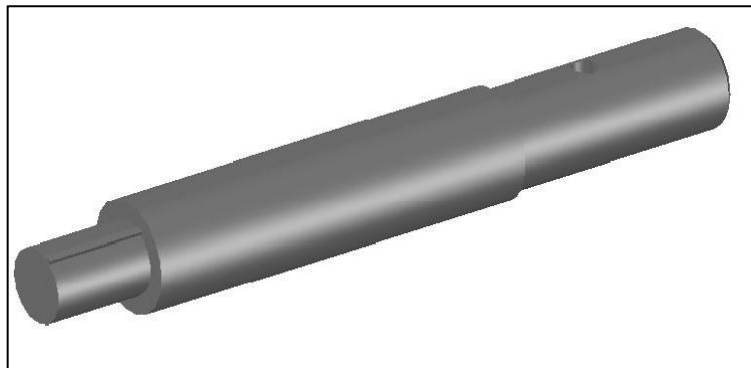
Así mismo, el trabajo de reacondicionamiento que hay que hacer al eje para una rosca barrida o un estrillado externo es el mismo que para un ajuste.

El método es sencillo y consiste en la reducción del diámetro del área afectada con el objetivo de poder insertar un injerto que cumpla con las medidas requeridas; el ajuste que se le dé al injerto depende del tipo de trabajo que realice el eje ya que puede ser que no sea necesario otro tipo de anclaje además del ajuste.

Algunas consideraciones para realizar el reacondicionamiento a un eje se pueden mencionar las siguientes:

- Centrar el eje en el torno con un reloj comparador dejando como máximo una tolerancia de 0,01 de pulgada de salto en el diámetro.
- Tornear el ajuste dañado con el objetivo de hacer una reducción considerable en el diámetro del eje desapareciendo por completo el área afectada. En algunos casos, según el diámetro del eje, se recomienda fresar un cuñero que sirva de arrastre.

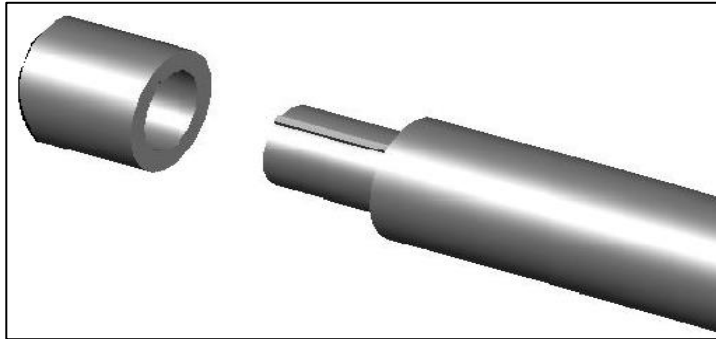
Figura 23. **Disminución de diámetro y fresado de cuñero**



Fuente: elaboración propia.

- Tornear el injerto cuya referencia para los ajustes necesarios la medida del diámetro y del largo que quedaron al finalizar de tornear el eje, en caso de ejercer trabajo pesado se cepilla un cuñero interno a la camisa para que sirva de arrastre.

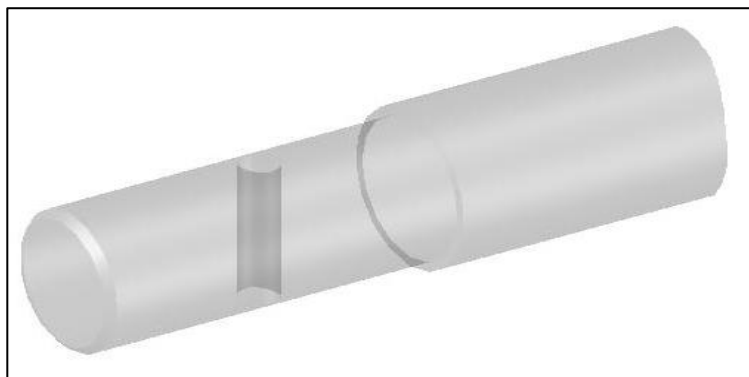
Figura 24. **Torneado y ajuste de injerto**



Fuente: elaboración propia.

- Ya insertado el injerto y de no llevar algún tipo de arrastre como cuñero, se recomienda perforar uno o dos agujeros para insertar un pin de seguridad que sirva para que el injerto no salga en ningún momento y al mismo tiempo arrastre al injerto. La figura 25 ejemplifica la posición del pin.

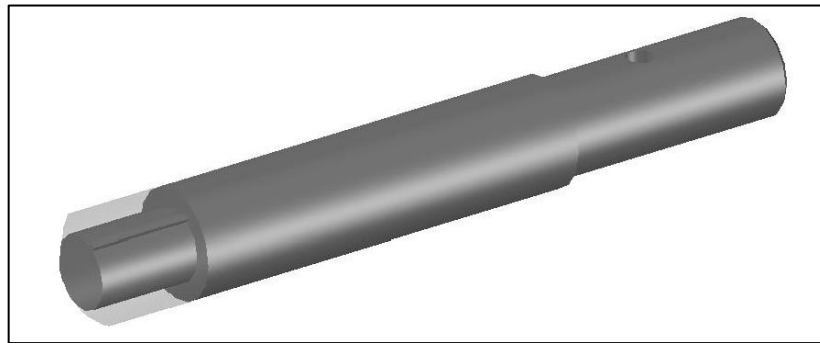
Figura 25. **Colocación de pin de seguridad**



Fuente: elaboración propia.

- Ya con el injerto asegurado se procede a torneado de nuevo ya sea un ajuste, rosca o estrillado.

Figura 26. **Injerto acoplado con cuñero de arrastre**



Fuente: elaboración propia.

3.3. Tipos de ajuste

Se llama ajuste al adecuar una pieza en otra, de manera que encajen perfectamente. Para la cual se debe de considerar la tolerancia de las piezas, que no es más que la forma en que se desea un ajuste, pues puede ser un ajuste forzado, también, un ajuste rotativo.

Por consiguiente, se debe enfocar en las tolerancias que pueden intervenir en un ajuste; la tolerancia es el valor de la variación permitida en la dimensión de una pieza. Es prácticamente la diferencia tolerada entre las dimensiones límites máxima y mínima de una dimensión nominal.

En un gran número de las operaciones que se lleve a cabo en el taller, no se hace necesaria una gran precisión o exactitud. Sin embargo, si se necesitara

una medida extremadamente exacta, hay que tomar en cuenta los siguientes procesos:

- Para lograr una extrema precisión se necesitan operaciones de desbastado, de acabado, otra de esmerilado y de pulido. En cada una de estas operaciones varía el grado de precisión.
- Para lograr una medida de desbaste o desbastado a máquina se puede especificar un margen de tolerancia de 0,8mm (1/32") que se mide fácilmente.
- Una segunda operación de maquinado, o sea la de acabado, puede especificarse una tolerancia de 0,4mm (1/64") que tendrá que medirse con el micrómetro.
- Para la operación de esmerilado, el margen de tolerancia puede ser de 0,005 mm (0,0002") siempre midiéndose con el micrómetro que tenga graduaciones de milésima de pulgada o centésimas de milímetro, según el sistema de medición que se esté utilizando.
- Para medir los productos en el curso de la operación de pulido, también, una vez han llegado a su estado totalmente acabado, deberán utilizarse bloques e indicadores calibradores (proceso por comparación).
- Los tornos y fresadoras se han proyectado y construido con un grado de precisión que con mucho cuidado en su manejo permiten conseguir márgenes de tolerancia menores que 0,025 mm (0,001").

- Cuando se toman medidas correspondientes a una precisión extrema hay que poner mucho cuidado para que los resultados no sean engañosos. Si al ajustar el micrómetro se le aprieta demasiado, cabe forzarlo hasta 0,001 mm (0,0005”). Cualquier leve juego u holgura de la superficie de contacto de la mordaza deslizable pueden ser causa de lecturas erróneas.
- La temperatura de la pieza que vaya a medirse habrá de ser aproximadamente del local, o sea unos 21,5 grados centígrados, ya que las temperaturas elevadas dilatan los materiales y las temperaturas muy bajas los contraen. Para la mayor parte de usos industriales el límite de precisión exigido llega hasta centésimas de milímetro. Cuando se emplea el sistema métrico o de las milésimas de pulgada cuando se usa el sistema inglés.
- El micrómetro da medidas con una exactitud de hasta 0,025mm. (0,001”). Los calibradores de precisión aprecian hasta 0,0002mm. (0,000008”).
- El ajuste es la condición ideal para fijación o funcionamiento entre piezas mecanizadas dentro de un límite. La unidad de medida para la tolerancia es la micra ($\mu\text{m}=0,001\text{mm.}$). El sistema más usado internacionalmente es ISO, que consiste en una serie de principios, reglas y tablas que permiten la elección racional de tolerancia en la producción de piezas.

3.3.1. Campo de tolerancia

Los campos de tolerancia no son más que el conjunto de los valores comprendidos entre el alejamiento superior e interior; corresponde, también, al intervalo entre la dimensión máxima y la dimensión mínima permitida. El

sistema de tolerancia ISO prevé 21 campos, representados por las letras del alfabeto latino; las mayúsculas son para agujeros y las minúsculas, para ejes.

- Agujeros: A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,M,N,P,R,S,T,U,V,X,Y,Z
- Ejes: a,b,c,d,e,f,g,h,j,k,m,n,p,r,s,t,u,v,x,y,z

Estas letras indican las posiciones de los campos de tolerancia en relación a la línea cero. Combinadas las de los agujeros y de los ejes, se obtienen los ajustes móviles o forzados como se requieran.

La calidad de trabajo, es decir, el grado de tolerancia y acabado de las piezas varía con la función que desempeñe en los conjuntos o máquinas y, también, al tipo de trabajo que la máquina realiza.

Por esta razón el sistema ISO establece 16 calidades de trabajo por esta razón, pueden ser adaptadas a distintos tipos de producción mecánica. Esas calidades son designadas por IT1 a IT16 (I de ISO y T de tolerancia)

Tabla VI. **Tolerancia de trabajo**

CALIDAD	APLICACIONES
1 a 5	Mecánica extra-precisa. Esta se reserva particularmente a calibradores análogos.
6	Mecánica muy precisa. Es indicada para ejes de máquinas herramientas como: fresadoras, rectificadora y otras.
7	Mecánica de precisión. Es particularmente prevista para agujeros que se ajustan con ejes de calidad 6.
8	Mecánica de media precisión. Indicada para ejes que se adjuntan con calidad 7.

Continuación de la tabla VI.

9	Mecánica ordinaria. Construcción de estructuras metálicas, trituradoras y otros.
10 a 11	Mecánica grosera. Construcción de piezas aisladas, fundición, forjado.
12 a 16	Mecánica pesada. Todo tipo de fabricación sin necesidad de medición.

Fuente: Organización Internacional de Normalización, ISO. *Grandes cosas suceden cuando el mundo está de acuerdo*. www.iso.com. Consulta: 26 de marzo de 2016.

3.4. Sugerencia y/o recomendaciones

- El reacondicionamiento en sí es un método utilizado para la reducción de costos, cabe mencionar que habría que evaluar en qué estado se encuentra el resto del elemento ya que muchas veces la fractura o desgaste de los elementos es tal que se recomienda el remplazo total del elemento.
- Si el reacondicionamiento se va a dar por el método de metalización en caliente supervisar que el operario no recaliente innecesariamente el área que se está trabajando ya que esto puede causar daños peores.
- Evitar un enfriamiento brusco luego de metalizar en caliente, esto puede provocar que un eje se tuerza o que una rueda dentada se deforme.
- La selección de la varilla de aporte es primordial ya que esta como consecuencia secundaria puede provocar el endurecimiento del elemento

provocando problemas serios al momento de querer maquinar la pieza para volverle a dar forma y medidas.

- El reacondicionamiento por metalización en caliente es una opción más viable cuando lo que se necesita es alargar un poco más el tiempo de vida del elemento, ya sea porque el remplazo está en proceso de importación y en proceso de fabricación. Puede ser una muy buena opción también cuando el resto del elemento ya tiene desgastes significativos en toda su estructura volviendo no rentable la aplicación de algún injerto.
- Si el reacondicionamiento se va a dar por medio de un injerto en el caso de una rueda dentada no debe exceder una tercera parte del dentado y que fabricar un injerto mayor a eso es tan costoso como fabricar uno totalmente nuevo, en el caso de un eje se recomienda que la reducción de diámetros no exceda del 50 % de su diámetro total ya que puede causar una fractura del eje.
- La aplicación de un injerto puede prolongar la vida útil del elemento considerablemente más en comparación con el método de arco eléctrico ya que la estructura original se mantiene y el injerto puede cambiarse cuantas veces sea necesario sin tener que cambiar o reparar el resto del cuerpo.
- Muchas veces el injerto suele fabricarse de materiales con características más resistentes para evitar su deterioro que no afecta en nada a la pieza original ya que el método de anclaje es mecánico.

4. ENSAYOS PRÁCTICOS

Según lo descrito con anterioridad, estos métodos de reacondicionamiento pretenden frenar la sustitución de elementos mecánicos por cualquier falla que hayan tenido falta, para reducir considerablemente los costos de operación de cualquier proceso de producción; el reacondicionamiento le da al elemento sus condiciones iniciales de operación.

Para poner en práctica todo lo descrito se procederá a realizar el reacondicionamiento de un eje y de una rueda dentada por ambos métodos para lograr un panorama más certero y tomar mejores decisiones económicas y técnicas.

El comparativo del costo y el tiempo que lleva el reacondicionamiento de cada elemento se basa en el promedio de los datos recopilados en la encuesta que se realizó en la zona industrial de la ciudad capital la zona 12; también, la práctica y sus ensayos son realizados por el estudiante que elabora el trabajo de graduación que credibilidad al tiempo y costo.

4.1. Comparación de costos

El costo del reacondicionamiento para un eje o para una rueda dentada puede variar por muchos factores, así que sería imposible tratar de establecer un costo fijo. Entre las variables se puede mencionar:

- Para un eje
 - Diámetro del eje
 - Longitud total a reemplazar
 - Material del cual está fabricado el eje
 - Dimensiones generales del eje
 - Tipo de reacondicionamiento: ajuste de cojinete, buje, cuñero

- Para una rueda dentada
 - Diámetro de la rueda
 - Módulo del dentado
 - Número de dientes
 - Material de la rueda dentada
 - Cantidad de dientes dañados

El costo varía, también, según el proveedor que se elija para realizar el reacondicionamiento; no hay ningún patrón de costos que rija a los proveedores a dar un precio.

Como ejemplo se presenta a continuación el siguiente análisis comparativo de un reacondicionamiento para un ajuste de rodamiento en un eje y el reacondicionamiento de dos dientes de una rueda dentada; ambos ejemplos suelen ser comunes en el departamento de mantenimiento:

- Ejemplo 1: para un eje redondo fabricado en acero 1018 cuyo reacondicionamiento consiste en dar de nuevo ajuste adecuado para recibir un cojinete o rodamiento. El ajuste tiene un diámetro de 3 plg y una longitud de 2 plg, el eje tiene una longitud total de 40 plg.

Tabla VII. **Comparación de costos para reacondicionamiento de eje**

	Tipo de material	Costo de material	Costo mano de obra	Total, promedio
Metalización en caliente	Electrodo E6013	Q 12,00	Q 450,00	Q 462,00
Aplicación de injerto	Barra perforada	Q 28,00	Q 700,00	Q 728,00

Fuente: elaboración propia.

En el caso de la metalización en caliente se elige electrodo punto café E6013 compatible con el acero 1018, una de sus características al metalizar es que su grado de dureza no es alto y es fácil de maquinar.

Si la limpieza entre uno y otro cordón de soldadura no es la adecuada o si la cantidad de soldadura aplicada al eje no es la suficiente, tendrá como consecuencia la formación de agujeros o cráteres al momento de dar un acabado final; en otras palabras, se tendrá que volver a soldar y tener que repetir todo el procedimiento.

En el caso de utilizar un injerto, por las dimensiones que tiene el área a reacondicionar y por no tener que transmitir movimiento, la sujeción del injerto puede darse por medio de un ajuste pesado sin necesidad de un pasador o cuñero con la función de arrastre.

Como se puede observar, la diferencia económica entre uno y otro método es de Q 250,00 aproximadamente; dicho costo deberá ser evaluado en conjunto con la diferencia que puede existir en horas necesarias para llevar a cabo dicho reacondicionamiento. Como se ha citado con anterioridad, no siempre es la diferencia económica la que da la inclinación a elegir entre uno u otro método sino las horas que va a estar en reparación el equipo lo que esto

puede frenar un proceso de producción en donde la pérdida económica por hora que este detenido el equipo es mayor incluso a la sustitución total del elemento mecánico que haya fallado.

- Ejemplo 2: para una rueda dentada (engranaje) fabricada en hierro fundido, 24 dientes rectos, módulo 5 con un diámetro total de 130 mm. Reacondicionamiento necesario en dos de sus dientes cuya falla fue su pérdida total.

Tabla VIII. **Comparación de costos para reacondicionamiento de rueda dentada**

		Tipo de material	Costo de material	Costo mano de obra	Total, promedio
Metalización	en	Electrodo UTP888	Q35,00	Q650,00	Q725,00
Aplicación	de	Acero 1018	Q18,00	Q1100,00	Q1200,00
caliente					
injerto					

Fuente: elaboración propia.

Para el reacondicionamiento de la rueda dentada con metalización en caliente se aplica el electrodo UTP 888 que contiene el 60 % de hierro fundido para evitar que se cristalice y se vuelva quebradizo al momento de querer fresar la forma de ambos dientes.

Se recomienda, también, que si el reacondicionamiento es por medio de metalización en caliente se perforen uno o dos agujeros por diente para roscar y poner dos tornillos de menor tamaño que el diente para que la soldadura no quede solo de manera superficial, sino que se funda con los tornillos que servirá, de anclaje a la rueda dentada cuyo resultado será el mayor soporte de carga y reducirá, considerablemente, la probabilidad de que se desprenda la soldadura.

Para el reacondicionamiento aplicando un injerto funciona muy bien el acero 1018. El costo de este material es relativamente bajo y fácil de maquinar, se encuentra no solo en barras cilíndricas, también en platinas; el anclaje a la rueda dentada es por medio de uno o dos tornillos por diente dependiendo su tamaño. Previo a instalar el injerto se debe fresar la cavidad en la rueda dentada para que el injerto entre con un ajuste liviano en la cavidad para luego terminar de sujetarlo con los tornillos.

Tanto en el eje como en la rueda dentada es más costoso el reacondicionamiento por aplicación de injerto; dicha diferencia no excede el 50 % del costo del reacondicionamiento por metalización en caliente, faltaría ver cuál es la tendencia en la línea de tiempo para ambos métodos y así concluir si existe una diferencia significativa que haga decidir entre uno u otro método.

Ajeno al costo real del reacondicionamiento, muchos proveedores de metal mecánica ajustan sus costos dependiendo del cliente; hay empresas que solicitan de 30 hasta 60 días de crédito que perjudican manera al proveedor.

4.2. Comparación de tiempo

Esta sección básicamente resume el tiempo en horas necesario para el reacondicionamiento de un eje y de una rueda dentada por los métodos de metalización en caliente y aplicación de injertos, dado que los ensayos prácticos realizados en la sección 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 fueron realizados no solo para fines demostrativos de este estudio comparativo, sino que se realizaron con fines reales de reacondicionamiento fueron fuentes confiables y certeras para un conteo en horas del trabajo realizado.

Para fines del estudio se toma en cuenta el tiempo real de trabajo para el reacondicionamiento que no necesariamente es el mismo si se habla del tiempo de entrega que este depende de la disponibilidad de maquinaria o de tiempo del operador o proveedor.

4.2.1. Tiempo de reacondicionamiento para un eje

El eje a reacondicionar es un eje central para bomba *Warm* que da transmisión al impulsor sufriendo un desgaste en el muñón que aloja uno de los rodamientos causado por la falta de mantenimiento y lubricación de los rodamientos, el diámetro del área dañada es de 50 mm, la longitud es de 52 mm.

El tiempo necesario para realizar el trabajo de reacondicionamiento por el método de metalización en caliente para el eje antes mencionado se detalla a continuación:

- Aplicación de 20 cordones de soldadura con un lapso de tiempo entre cada cordón de 1 min. Incluido la limpieza de la escoria generada por cada cordón de soldadura: 45 min.
- Tiempo necesario para que la temperatura descienda lo suficiente para que el operario pueda manipular el eje y así proceder a maquinar el mismo: 30 min.
- Montaje del eje al torno, maquinado de la soldadura, rectificación de ajuste necesario para el rodamiento y acabado final: 1 hora.

Para el reacondicionamiento del eje por medio de metalización en caliente fueron necesarias 2 horas 15 minutos de trabajo continuo; este tiempo puede variar según muchos factores: la gravedad del daño que tenga el ajuste, las habilidades del operario, entre otros.

El tiempo necesario para realizar el trabajo de reacondicionamiento por el método de aplicación de un injerto para el eje antes mencionado se detalla a continuación:

- Montaje del eje al torno, disminución del diámetro dañado de 50 mm a 42 mm: 45 min.
- Montaje de la barra perforada al torno, refrentado y cilindrado del diámetro del agujero interno a 42mm con un ajuste de 1 décima, refrentado del otro extremo de la barra perforada: 45 min.
- Montaje del eje y de la barra perforada por medio de una prensa hidráulica: 20 min.
- Montaje del eje a barreno de pedestal, perforación de agujero de un cuarto de pulgada para la introducción de un pasador, introducción de pasador a presión: 35 min.
- Montaje de eje a torno, reducción del diámetro externo de la barra perforada a 50 mm, rectificación de ajuste necesario para el rodamiento, acabados finales: 45 min.

Para el reacondicionamiento del eje con la aplicación de un injerto fueron necesarias 3 horas 16 minutos de trabajo continuo; este tiempo varía ya que las habilidades del operario son determinantes en la línea de tiempo.

Ambos métodos fueron cronometrados, trabajo en ambos ejes era el mismo: el reacondicionamiento del muñón que recibe al impulsor de una bomba auxiliar de agua necesaria para el riego de material triturado necesario para la fabricación de cemento.

A continuación, se presenta un resumen de la toma de tiempo.

Tabla IX. **Comparación de tiempo para el reacondicionamiento de un eje por medio de metalización en caliente y aplicación de un injerto**

Método utilizado para el reacondicionamiento	Tiempo
Metalización en caliente	2 horas 15 minutos
Aplicación de un injerto	3 horas 16 minutos
Diferencia de tiempo entre ambos métodos	1 hora 1 minuto

Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Tiempo de reacondicionamiento para una rueda dentada

La rueda dentada a reacondicionar es una rueda de caja *Norton* de un torno *South Bend* que está fabricada de acero 1018, tiene 80 dientes, 6,833 plg de diámetro y 0,875 plg de ancho. La falla se dio en dos de sus dientes a causa de la introducción de un tornillo sobre su rodada. Para la comparación del tiempo requerido en su reacondicionamiento no se toma en cuenta el tiempo en

desarmar y armar la caja *Norton* del torno ya que para fines del estudio comparativo no es necesaria esta información.

El tiempo necesario para el reacondicionamiento por medio de metalización en caliente de la rueda dentada del *South Bend* se detalla a continuación:

- Ambos dientes en mal estado se retiran y se procese a la aplicación de soldadura sobre el área dañada limpiando la escoria entre cada punto aplicado, hasta estar seguro de haber llegado a la altura necesaria para la rectificación. Tiempo estimado: 1 hora.
- Se requiere de una pausa para que la rueda dentada regrese a una temperatura baja y así el operario pueda trabajar en la rectificación de la soldadura aplicada. Tiempo estimado: 30 minutos.
- En primer plano se retira el exceso de soldadura con ayuda de un esmeril y de un *moto-tool*. Tiempo estimado: 45 minutos.
- Ambos dientes se terminan de tallar con ayuda de limas planas y triangulares. Tiempo estimado: 45 minutos.

Para el reacondicionamiento de la rueda dentada por medio de metalización en caliente fueron requeridas 3 horas aproximadamente; dicho tiempo es de trabajo ininterrumpido, el tiempo puede variar dependiendo de las habilidades del operario.

El tiempo necesario para el reacondicionamiento por la aplicación de un injerto para la rueda dentada del *South Bend* se detalla a continuación:

- Montaje de la rueda dentada a la fresadora, fresado de dientes en mal estado, fresado de cavidad para recibir el injerto: 1 hora 30 min.
- Perforación de dos agujeros y roscado de los mismos para la sujeción del injerto: 45 min.
- Fresado del injerto: 1 hora 30min.
- Montaje de la rueda dentada a la fresadora, cálculo del círculo y de número de agujeros para ajustar el cabezal divisor, prueba del número de divisiones, centrado de la rueda dentada y fresado de los dientes sobre el injerto: 1 hora 30min.

Para el reacondicionamiento de la rueda dentada por medio de la aplicación de un injerto fueron necesarias 5 horas y 15 minutos de trabajo ininterrumpido, este tiempo puede variar según las habilidades del operario que realice el trabajo y de la disposición de todo el equipo necesario para realizar dicho trabajo.

La rueda dentada que se utilizó para la comparación de tiempo fue la misma, primero se procedió con el reacondicionamiento por medio de metalización en caliente y luego se procedió a fresar y quitar los dientes dañados con el fin de realizar exactamente el mismo reacondicionamiento y así poder cronometrar el tiempo necesario para ambos trabajos.

A continuación, se presenta un resumen de la toma de tiempo:

Tabla X. **Comparación de tiempo necesario para el reacondicionamiento de una rueda dentada por medio de metalización en caliente y aplicación de un injerto**

Método utilizado para el reacondicionamiento	Tiempo
Metalización en caliente	3 horas
Aplicación de un injerto	5 horas 15 minutos
Diferencia de tiempo entre ambos métodos	2 horas 15 minutos

Fuente: elaboración propia.

En ambos casos de reacondicionamiento para ejes y para ruedas dentadas, el tiempo de diferencia entre ambos métodos no es significativo; en la selección del método de reacondicionamiento para este ejemplo en particular, el factor tiempo no es clave y podría inclinarse entre uno y otro dependiendo del costo y criterio del encargado del mantenimiento.

4.3. Reacondicionamiento de eje por metalización en caliente

El eje a reacondicionar es un eje central para bomba *Warm* que trabaja de manera auxiliar en el riego de material triturado utilizado para la fabricación de cemento; el material se riega de manera continua durante todo el proceso para evitar la presencia de polvo de manera excesiva que provoca daño a otros elementos mecánicos del equipo y puede perjudicar la salud de los colaboradores que trabajan para la empresa, dicho eje da transmisión al impulsor sufriendo un desgaste en el muñón que aloja uno de los rodamientos causado por la falta de mantenimiento y lubricación de los rodamientos, el diámetro del área dañada es de 50 mm y la longitud es de 52 mm.

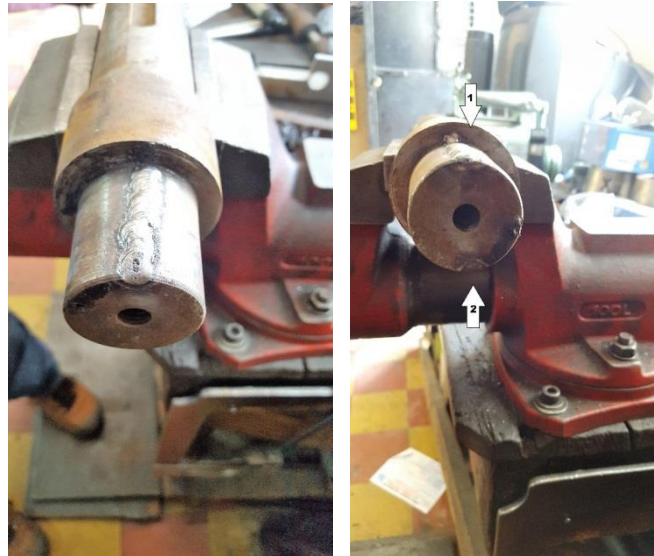
Figura 27. **Eje central para bomba *Warm***



Fuente: elaboración propia.

Para el reacondicionamiento por metalización en caliente se aplica el primer cordón de soldadura en cualquier espacio sobre la superficie dañada; se retira la escoria producida sobre el cordón de soldadura; se espera un promedio de 1 minuto para la aplicación del segundo cordón para que la temperatura se disipe y de preferencia aplicarlo a 180 grados del primer cordón para que la temperatura aumente de manera equitativa sobre la superficie del eje.

Figura 28. **Aplicación de soldadura sobre superficie dañada**

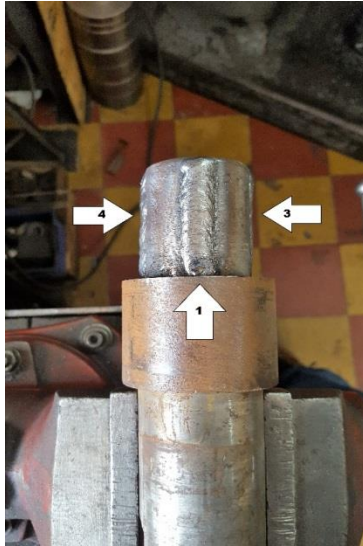


Fuente: elaboración propia.

La aplicación del tercer cordón se realiza a 90 grados del segundo; la aplicación del cuarto cordón se realiza a 180 grados del tercero de esta manera se empieza a llenar el área dañada, siempre retirando la escoria producida por cada cordón y dejando lapsos de tiempo entre cada uno para evitar que la temperatura del eje aumente demasiado.

Mientras más pequeño es el diámetro del eje, mayor debe ser el lapso de tiempo entre cada cordón ya que la temperatura puede torcer el eje.

Figura 29. **Aplicación de soldadura sobre superficie dañada**



Fuente: elaboración propia.

Sucesivamente, se siguen aplican cordones de soldadura hasta que se haya llenado por completo todo el diámetro del eje en su sección dañada; si al cerrar la vuelta completa de cordones de soldadura no se ha alcanzado la altura necesaria para poder dar el diámetro deseado se debe repetir el procedimiento una vez más sobre toda la superficie asegurando que al momento de tornearse el eje se obtendrá el diámetro deseado; además, cerciorarse que no queden cráteres que puedan ser lo suficientemente profundos y que no puedan rectificarse al momento que se maquina el eje; el acabado del cordón de soldadura o la buena aplicación de un cordón de soldadura depende mucho, también, de la buena selección del amperaje que se haya seleccionado en la máquina de soldar.

Figura 30. **Acabado final de la metalización en caliente**



Fuente: elaboración propia.

Luego de llenar de soldadura toda la sección dañada y ya que el eje tenga una temperatura apta para poder manipularlo, se procede a montar al torno para rectificar el diámetro del eje.

Figura 31. **Montaje de eje para su rectificación**



Fuente: elaboración propia.

La manera más sencilla de maquinar la soldadura es a baja revolución para evitar la vibración, con una cuchilla de tungsteno para evitar que pierda el filo continuamente; el avance de corte debe ser moderado ya que la superficie a rectificar no es uniforme y puede causar una fractura en la cuchilla de corte.

Figura 32. **Rectificado de soldadura**



Fuente: elaboración propia.

La cantidad de cortes depende de la cantidad de soldadura que se haya depositado; el acabado final debe realizarse a una velocidad más alta ya que la superficie para ese entonces será uniforme; el ajuste necesario en la medida del diámetro depende del uso que vaya a dársele, comúnmente, se requiere de herramienta de medición más precisa como un micrómetro o un comparador de carátula; para este caso en particular se recomienda dejar un ajuste de dos décimas de milímetro con un diámetro final de 50,02 milímetros; es común que los acabados y ajustes finales se hagan con lija y a alta velocidad que logran superficies totalmente lisas que ayuden al buen montaje de rodamientos, poleas, chumaceras, ruedas dentadas, etc.

Figura 33. **Acabado final del reacondicionamiento por medio de metalización en caliente**



Fuente: elaboración propia.

4.4. Reacondicionamiento de eje por medio de aplicación de injertos

El eje a reacondicionar por el método de aplicación de injertos es un eje similar al utilizado en el inciso 4.3, este es un eje central para bomba *Warm*, el área dañada tiene 50 milímetros de diámetro y 52 milímetros de longitud; esta sección se dañó a raíz del mal montaje del propulsor instalado sobre el eje; no se detectó que ambos tornillos castigadores del propulsor no tuvieron el torque necesario al momento de ser instalados cuyo resultado fue que ambos tornillos castigadores se aflojaron y dañaron la superficie del eje.

Como primer paso se coloca el eje al torno cerciorándose que el eje se encuentre centrado en su diámetro de una manera correcta para evitar problemas posteriores: vibración o salto en su diámetro; seguido, se realiza una disminución en el diámetro de la sección dañada, el diámetro original es de 50 milímetros y se reduce a 42 milímetros.

Figura 34. **Disminución de diámetro en sección dañada**



Fuente: elaboración propia.

Luego, se realiza el montaje al torno de la barra perforada que tiene medidas de 40 por 55 milímetros; se tornea el ajuste interno a 42 milímetros y se refrenta ambas caras de la barra perforada.

Figura 35. **Maquinado de barra perforadora**



Fuente: elaboración propia.

Para la incrustación del injerto al eje se requiere de una prensa hidráulica ya que el ajuste que se dejó es de 1 décimo de milímetro.

Figura 36. **Incrustación de injerto a eje**



Fuente: elaboración propia.

Incrustado, el injerto y el eje pasan a ser una sola pieza; por seguridad se recomienda montar el eje a una fresadora o a un barreno de pedestal con el objetivo de barrenar de manera transversal el eje para luego introducir un pin y asegurar de este modo que el injerto insertado no gire sobre el eje y que tampoco vaya a tener opción a salirse de manera paralela al eje.

El diámetro del pin es a consideración del operario que está realizando el reacondicionamiento, para este eje se perfora un agujero de 5/16" equivalente a 7.93 milímetros y se inserta un pin de acero 1 018 de 8 milímetros de diámetro.

Figura 37. Introducción de pin de seguridad



Fuente: elaboración propia.

Se coloca el eje al torno y se procede a torneado el diámetro mayor del injerto con el fin de dar de nuevo las medidas originales del eje.

Figura 38. Rectificación y ajuste de diámetro mayor del eje



Fuente: elaboración propia.

Luego de rectificar el diámetro del injerto, el eje vuelve a sus condiciones iniciales de trabajo; la vida útil del eje depende de las horas de trabajo y del buen mantenimiento preventivo.

Figura 39. **Eje reacondicionado por medio de aplicación de injerto**



Fuente: elaboración propia.

4.5. Reacondicionamiento a rueda dentada por metalización en caliente

La rueda dentada a reacondicionar es una rueda dentada de caja *Norton* de un torno *South Bend*, tiene 80 dientes, 6,833 pulgadas de diámetro y 0,875 pulgadas de ancho.

La rueda está fabricada de acero 1018, el electrodo seleccionado es un electrodo punto café E6013 de uso común y fácil de maquinar.

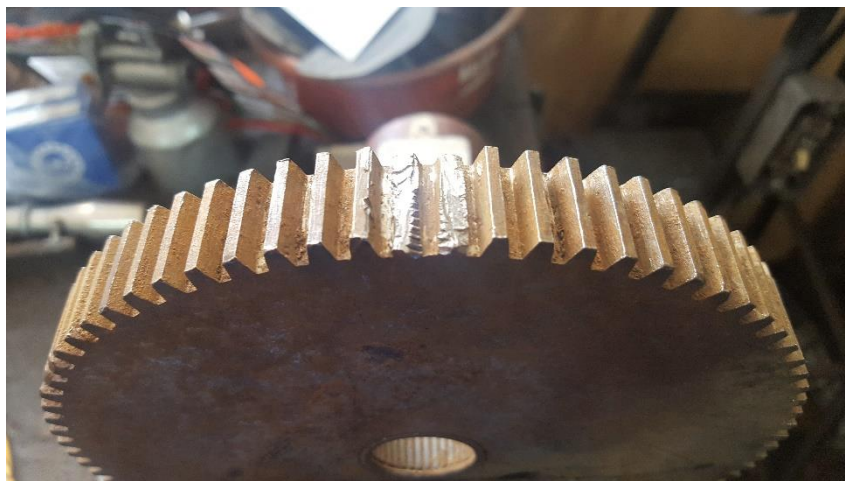
Figura 40. **Rueda dentada de caja Norton para torno South Bend**



Fuente: elaboración propia.

Se deben retirar los dientes dañados con ayuda de un cincel y martillo o con una muela de esmeril para desvanecer toda la sección dañada para que la soldadura sobre la rueda dentada tenga una buena base, si se deposita sobre un diente dañado se puede desprender.

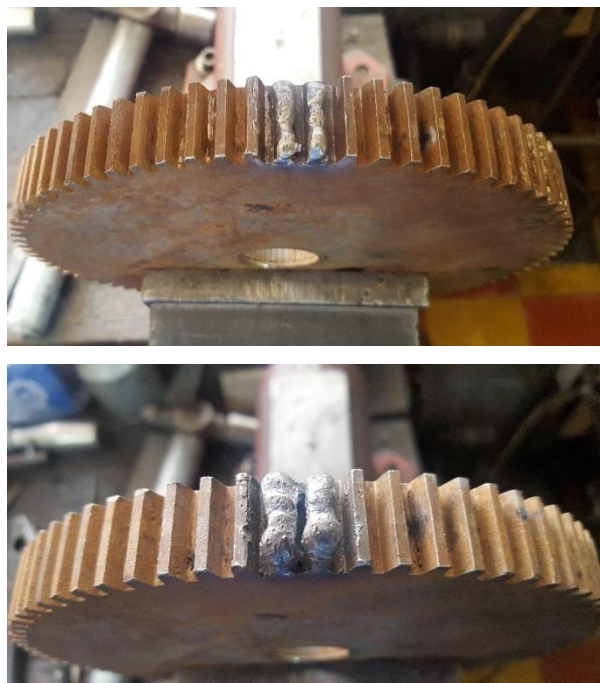
Figura 41. **Remoción de dientes dañados**



Fuente: elaboración propia.

La metalización en caliente se hace sobre cada diente dañado procurando no llenar los espacios entre diente y diente; se debe depositar suficiente soldadura para que al momento de rectificar y dar de nuevo la forma del diente no quede muy delgado ni muy bajo.

Figura 42. **Metalización de dientes dañados**



Fuente: elaboración propia.

Como la metalización se efectuó con una varilla punto café E6013, fácilmente, se puede maquinar la forma del diente con ayuda de muelas de esmeril, lima y un *moto tool*.

Figura 43. **Herramienta básica para reacondicionamiento de rueda dentada por medio de metalización en caliente**



Fuente: elaboración propia.

Para tallar los dientes se puede apoyar también con un calibrador para ir haciendo mediciones tanto del alto como del espesor de cada diente; si el operario no tiene habilidad con las herramientas de banco, se recomienda elaborar una plantilla de papel para poder trazar la forma correcta del diente.

El exceso de soldadura se retira con la ayuda de un esmeril y la forma se talla con discos pequeños de pulir y piedras de esmeril pequeñas accionadas por medio de un *moto tool*; los acabados finales y los biseles se trabajan con limas finas para que el desprendimiento de material sea moderado y preciso. Si el diente tuviera algún vacío por falta de soldadura, se pueden aplicar pequeños puntos de soldadura para luego desvanecer los excesos.

Figura 44. **Rueda dentada reacondicionada por medio de metalización en caliente**



Fuente: elaboración propia.

4.6. **Reacondicionamiento por aplicación de injerto**

La rueda dentada a reacondicionar al igual que en el punto 4,5 es una rueda de caja *Norton* fabricada en acero 1 018 con la diferencia que cuenta con 60 dientes, un diámetro de 5,167 pulgadas y un espesor de 0,875 pulgadas.

Figura 45. **Rueda dentada a reacondicionar por medio de un injerto**



Fuente: elaboración propia.

Para reacondicionar la rueda dentada, se monta la rueda a la fresadora y se fresa una cavidad que abarque los dientes dañados y uno más hacia ambos lados; esto último, para que el injerto sea un poco más grande y haya espacio para poder sujetar el injerto a la rueda dentada por medio de dos tornillos.

Lista la cavidad se perforan los dos agujeros de 4,1 milímetros que servirán para introducir machuelos de 5 milímetros; estas roscas recibirán a los tornillos que fijarán el injerto.

Figura 46. **Fresado de cavidad para el injerto**



Fuente: elaboración propia.

Se fresa el injerto de acero 1018 tomando como base las medidas finales de la cavidad que se freso sobre la rueda dentada; se perforan, también, sobre el injerto los dos agujeros para los tornillos de 5 milímetros y un agujero de 6,5 milímetros para que la cabeza de los tornillos Allen queden escondidos y no estorben sobre la superficie de la rueda dentada.

Figura 47. **Fresado de injerto**



Fuente: elaboración propia.

Listo el injerto y fijo a la rueda dentada se monta la rueda al cabezal divisor previo de haber ajustado el cabezal; para el número de divisiones se procede a fresar los dientes sobre el injerto dándole de nuevo a la rueda dentada sus condiciones iniciales de trabajo.

Figura 48. **Montaje de rueda dentada a cabezal divisor**



Fuente: elaboración propia.

Con la rueda dentada ya montada al cabezal divisor se fresan los dientes; la profundidad del diente se alcanza con dos cortes; el avance de corte no debe ser apresurado y la manera de lubricar la herramienta de corte para que su filo de ataque se mantenga en buen estado el mayor tiempo posible es con aceite soluble o aceite de corte.

Una vez fresado el injerto, la rueda dentada regresa a sus condiciones iniciales de trabajo dejando la masa del engranaje lista para un cambio de injerto si los dientes se dañaran en un futuro.

Figura 49. **Reacondicionamiento de rueda dentada por aplicación de un injerto**



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Los métodos de reacondicionamiento más utilizados en la actualidad son la metalización en caliente y la aplicación de injertos; cada uno brinda ventajas y desventajas según su aplicación.
2. Los ingenieros a cargo del área de mantenimiento se basan en las recomendaciones dadas por el proveedor a cargo del reacondicionamiento; aduce que por experiencia laboral podrán tener un mejor criterio; dicho proveedor se ve restringido por el tiempo o por el costo de estos trabajos.
3. Se aplicaron ambos métodos de reacondicionamiento en un eje y en una rueda dentada; la metalización en caliente tiene como ventaja el tiempo cuando se lleva a cabo el reacondicionamiento y el bajo costo y como desventaja el endurecimiento de los elementos mecánicos causado por el cambio brusco de la temperatura. La aplicación de un injerto tiene como ventaja la prolongación en su tiempo de vida útil y como desventaja el costo y el tiempo del reacondicionamiento.
4. Se realizó el reacondicionamiento de un eje y de una rueda dentada para evidenciar y respaldar los resultados arriba descritos; ambos elementos mecánicos se encuentran trabajando en la actualidad sin presentar problema alguno y realizando sus funciones.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la correcta planificación y ejecución de los mantenimientos preventivos ya que en la mayoría de los casos depende del tiempo y el presupuesto necesario para un correcto reacondicionamiento de un elemento mecánico en mal estado.
2. Un jefe de mantenimiento debe tener criterio propio que debe crearse con base en el historial de mantenimiento de la máquina y al tiempo de vida de sus elementos mecánicos, no solo según lo que recomiende el proveedor puede manipular la situación a su conveniencia.
3. Para el reacondicionamiento de ejes y ruedas dentadas que no tienen tratamiento térmico se recomienda la aplicación de un injerto, con este método no se altera la estructura molecular interna de los materiales y a su vez el eje o rueda dentada quedan listos para un cambio de injerto a futuro que reducen el costo de reacondicionamiento.
4. Se recomienda realizar un análisis a detalle con relación al tiempo de vida de los elementos mecánicos reacondicionados cada uno por un método diferente para determinar de mejor manera las horas de vida de trabajo útil obtenido mediante el reacondicionamiento, ya que en la actualidad ambos métodos siguen trabajando y no se pudo determinar el tiempo de vida útil.

BIBLIOGRAFÍA

1. *¿Cómo soldar con arco eléctrico?* [En línea]. <<http://es.wikihow.com/soldar-con-arco-el%C3%A9ctrico>>. [Consulta 26 de febrero de 2016].
2. FERRER GIMÉNEZ, Carlos. *Tecnología de materiales*. Valencia, España: Universidad Politécnica De Valencia. 2009. 464 p.
3. JIMENO, Emilio. *Metalurgia general*. Barcelona, España: Reverté, S.A., 2004. 1437 p.
4. *Mecanizado básico*. [En línea]. <<http://mecanizadobasico.blogspot.com/>>. [Consulta 10 de enero de 2016].
5. MELERO, Francisco Javier. *Materiales y procesos avanzados*. Barcelona, España: Dayton, S. A., 2006. 254 p.
6. Organización Internacional de Normalización, ISO. *Grandes cosas suceden cuando el mundo está de acuerdo*. [En línea]. <www.iso.com>. [Consulta: 26 de marzo de 2016].
7. *Reparación de grandes engranajes y reductores*. [En línea]. <www.fuiberica.com/reparacion-de-engranajes-y-reductores.htm>. [Consulta: 10 de enero de 2016].

8. Servicios de informática en la nube. *Empiece a crear en AWS*. [En línea]. <www.aws.com>. [Consulta: 26 de marzo de 2016].
9. *Soldadura de arco metálico*. [En línea]. <<http://es.wikihow.com/soldar-con-arco-el%C3%A9ctrico>>. [Consulta: 10 de enero de 2016].
10. VÁSQUEZ, Alfonso José. *Ciencia e ingeniería de la superficie de los materiales metálicos*. Madrid, España: CSIC-CSIC press, 2001. 632 p.