



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

**RECUPERACIÓN DE MARTILLOS DE MOLIENDA DE ARCILLA POR MEDIO  
DEL PROCESO DE SOLDADURA MIG/MAG**

**Dania Paola Díaz Quinteros**

Asesorado por el Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera

Guatemala, febrero de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**RECUPERACIÓN DE MARTILLOS DE MOLIENDA DE ARCILLA POR MEDIO  
DEL PROCESO DE SOLDADURA MIG/MAG**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**DANIA PAOLA DÍAZ QUINTEROS**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ENRIQUE CHICOL CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA MECÁNICA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Esdias Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### **RECUPERACIÓN DE MARTILLOS DE MOLIENDA DE ARCILLA POR MEDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA MIG/MAG**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 6 de marzo de 2019.



**Dania Paola Díaz Quinteros**

Guatemala 12 de Noviembre de 2019

Ingeniero  
Roberto Guzmán Ortiz  
Director de Escuela Mecánica  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Guzmán

De la manera más atenta me dirijo a usted para comunicarle que se ha finalizado la etapa de asesoría y revisión del trabajo de graduación presentado por el estudiante Dania Paola Diaz Quinteros quien se identifica con Registro Académico No: 2011-14023 y CUI 2220 46988 0101, titulado: **"RECUPERACIÓN DE MARTILLOS DE MOLIENDA DE ARCILLA POR MEDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA MIG/MAG"**.

Dado lo anterior me permito extenderle mi aprobación para continuar con el proceso correspondiente.

Atentamente,



Carlos Enrique Chicol Cabrera  
Ingeniero Mecánico  
Col. 6965

**Ma. Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera**  
**Colegiado No. 6965**  
**Asesor de Tesis**



# USAC

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala


Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.277.2019

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: **RECUPERACIÓN DE MARTILLOS DE MOLIENDA DE ARCILLA POR MEDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA MIG/MAG** presentado por la estudiante **Dania Paola Díaz Quinteros**, CUI **2220469880101** y Reg. Académico No. **201114023** recomienda su aprobación.

*"Id y Enseñad a Todos"*

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



Guatemala, noviembre 2019



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.043.2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Asesor y del Coordinador del Área Complementaria, al trabajo de graduación titulado: **RECUPERACIÓN DE MARTILLOS DE MOLIENDA DE ARCILLA POR MEDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA MIG/MAG** presentado por la estudiante **Dania Paola Díaz Quinteros**, CUI **2220469880101** y Reg. Académico No. **201114023** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, febrero de 2020

/aej





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**Decanato**  
**Facultad de Ingeniería**  
**24189102 - 24189103**

DTG. 055.2020

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **RECUPERACIÓN DE MARTILLOS DE MOLIENDA DE ARCILLA POR MEDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA MIG/MAG**, presentado por la estudiante universitaria: **Diana Paola Díaz Quinteros**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, febrero de 2020

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios y la Virgen María** Por darme la vida, fortaleza y perseverancia para llegar hasta este momento.
- Mi padre** Por ser la luz en mi vida y por todos los años de esfuerzo y perseverancia que dieron fruto el día de hoy.
- Mi madre** Por ser mi mejor amiga y la mujer que espero llegar a ser, agradezco su apoyo incondicional y la fe que siempre tuvo en mí.
- Mi hermanos** Laura Patricia, Mariela Lucia y Otto Javier Díaz Quinteros, agradezco la presencia, el apoyo, la confianza y la oportunidad que me dan al ser parte de su vida.
- Mi familia** Especialmente a Soledad Quinteros de Martínez, Edgar Cajas y Hugo Alberto Boiton Valdez (q.d.e.p.), Ana María Ivonne Boiton Andrade, Maria Yoc Silvestre, a toda la familia Boiton, a todas mi primas y sus hijos.

**Mis mejores amigos**

Erick García, Andrea Boiton, Glenda Oliva, Diana Acuña, por el apoyo al principio, durante y al final de este proceso y por nunca dejarme caer, infinitas gracias.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Dios y la Virgen María**

Por ser mi roca y darme la fuerza para poder cumplir con esta meta.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Gloriosa casa de estudios e invaluable en enseñanza.

**Escuela de Ingeniería  
Mecánica**

Por brindarme la mejor la formación profesional y experiencia de vida.

**Los ingenieros**

Ing. Juan Carlos Quiñonez, mi asesor Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera, Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez, Ing. Manuel Enrique Huete Serrano, muchas gracias por el apoyo y consejos brindados.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. FABRICACIÓN DE PISOS Y AZULEJOS CERÁMICOS EN LA INDUSTRIA.....	1
1.1. Producción de pisos y azulejos de forma artesanal.....	2
1.1.1. Fases.....	3
1.1.1.1. Extracción del material .....	4
1.1.1.2. Tratamiento del material .....	4
1.1.1.3. Amasado.....	5
1.1.1.4. Reposado o madurado .....	5
1.1.1.5. Moldeado.....	5
1.1.1.6. Secado .....	6
1.1.1.7. Cocción.....	6
1.1.1.8. Impermeabilización.....	7
1.1.1.9. Decorado .....	7
1.2. Producción de pisos y azulejos de forma semiindustrial.....	7
1.2.1. Materia prima.....	8
1.2.2. Fases.....	9
1.2.2.1. Preparación de la pasta.....	9
1.2.2.2. Moldeado.....	9

	1.2.2.3.	Secado .....	10
	1.2.2.4.	Horneo/cocción .....	11
1.3.		Producción de pisos y azulejos de forma industrial.....	12
	1.3.1.	Fases.....	13
	1.3.1.1.	Extracción del material .....	13
	1.3.1.2.	Tratamiento del material.....	13
	1.3.1.3.	Modelado.....	14
	1.3.1.4.	Secado .....	14
	1.3.1.5.	Cocción .....	15
	1.3.1.6.	Hornos.....	16
2.		PROCESO DE FABRICACIÓN DE PISOS CERÁMICOS .....	17
	2.1.	Molienda y humectación de arcilla .....	17
	2.1.1.	Molienda por vía seca/ humectación .....	19
	2.1.2.	Molienda por vía húmeda .....	20
	2.2.	Prensado y secado.....	21
	2.2.1.	Secado .....	24
	2.2.1.1.	Secadero horizontal .....	25
	2.2.1.2.	Secadero vertical.....	26
	2.3.	Cocción del bizcocho .....	26
	2.3.1.	Clasificación en el área de cocción .....	29
	2.3.1.1.	Bicocción tradicional.....	30
	2.3.1.2.	Monococción .....	31
	2.4.	Molienda de esmaltes .....	31
	2.5.	Esmaltación del bizcocho.....	36
	2.5.1.	Técnicas de esmaltado .....	37
	2.5.1.1.	Esmaltado a cortina.....	37
	2.5.1.2.	Esmaltado mediante pulverización .....	38
	2.5.2.	Técnicas de decoración .....	38

	2.5.2.1.	Decoraciones en seco .....	39	
		2.5.2.1.1.	Sistemas de impresión por chorro de tinta.....	40
	2.5.3.	Máquina esmaltadora .....	40	
2.6.		Cocción de las piezas esmaltadas .....	42	
	2.6.1.	Tipos de cocción.....	43	
	2.6.2.	Hornos .....	44	
	2.6.3.	Etapa de precalentamiento .....	45	
	2.6.4.	Calentamiento.....	45	
	2.6.5.	Etapa de cocción .....	46	
	2.6.6.	Etapa de enfriamiento.....	47	
2.7.		Selección y empaque .....	48	
		2.7.1.1.	Clasificación.....	49
	2.7.2.	Rotulado .....	52	
3.		RENDIMIENTO DE LOS MARTILLOS .....	53	
	3.1.	Rendimiento de un martillo nuevo .....	53	
		3.1.1.	Período de cambio de un martillo nuevo .....	54
		3.1.2.	Costo de un martillo nuevo .....	59
	3.2.	Rendimiento de un martillo recuperado .....	60	
		3.2.1.	Período de cambio de un martillo reparado .....	61
		3.2.2.	Costo de la recuperación de un martillo .....	68
	3.3.	Efectos del bajo rendimiento de un martillo de molienda .....	69	
		3.3.1.	Baja de producción .....	70
		3.3.2.	Incremento de paros por mantenimiento .....	70
		3.3.3.	Altos costos de mantenimiento .....	71



4.	PROPUESTA PARA LA RECUPERACIÓN DE MARTILLOS DE MOLIENDA .....	73
4.1.	Mantenimiento y recuperación de martillos .....	73
4.2.	Planificación para recuperación de martillos .....	75
4.3.	Evaluación para recuperación de martillos por medio de soldadura .....	76
4.3.1.	Identificar la necesidad de reparación .....	76
4.3.2.	Determinar la naturaleza del mecanismo de desgaste.....	79
4.3.3.	Determinar la soldabilidad del material base .....	80
4.3.4.	Determinar el proceso de soldadura .....	82
4.3.5.	Determinar el mejor material de aporte .....	83
4.3.6.	Determinar la distorsión del martillo .....	84
4.3.7.	Determinar estándares de soldadura .....	86
4.4.	Establecer el procedimiento de recuperación .....	86
4.4.1.	Definir el equipo necesario de soldadura .....	87
4.4.2.	Consideraciones térmicas .....	88
4.5.	Ejecución de la reparación .....	92
4.6.	Inspección visual .....	93
4.7.	Verificación de peso y dimensiones del martillo .....	96
4.8.	Balance dinámico del tándem de martillos .....	99
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA MIG/MAG .....	105
5.1.	Principios del proceso .....	105
5.2.	Características del proceso .....	117
5.3.	Ventajas del proceso .....	121
5.4.	Limitantes del proceso .....	125
5.5.	Aplicaciones .....	125
5.6.	Rango de espesor del material base por soldar .....	127

5.7.	Recubrimientos protectores a utilizar en la recuperación de los martillos.....	129
5.8.	Selección de recubrimientos protectores.....	134
5.8.1.	Dureza .....	137
5.8.2.	Desgaste.....	141
5.8.3.	Tipos de mecanismos.....	143
5.9.	Sistemas de aleación resistentes al desgaste .....	145
6.	CONDICIONES QUE ASEGURAN LA CALIDAD DE LOS RECUBRIMIENTOS DUROS .....	149
6.1.	Defectos comunes en aplicación de recubrimiento .....	149
6.1.1.	Cavidades internas entre capas .....	154
6.1.2.	Fusión incompleta.....	156
6.2.	Aplicaciones de los recubrimientos duro en la industria .....	159
6.3.	Procedimiento para una correcta aplicación de revestimientos duros .....	162
7.	RESULTADOS OBTENIDOS EN LA RECUPERACIÓN DE MARTILLOS DE MOLIENDA DE ARCILLA.....	167
7.1.	Inspección de los martillos.....	167
7.2.	Rendimiento de los martillos basados en análisis costo-beneficio .....	175
	CONCLUSIONES .....	179
	RECOMENDACIONES .....	181
	BIBLIOGRAFÍA.....	183



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Clasificación del producto .....	50
2.	Embalaje .....	51
3.	Molino de martillos .....	55
4.	Cambio de lado del martillo desgastado .....	67
5.	Martillo desgastado .....	79
6.	Consideraciones térmicas del martillo reparado .....	90
7.	Precautado de martillo reparado .....	91
8.	Calentamiento de martillo reparado después de la soldadura .....	92
9.	Martillo recuperado en reposo.....	95
10.	Identificación de martillo para peso.....	97
11.	Identificación de martillo desgastado .....	98
12.	Revisión de dimensiones y peso de martillo .....	99
13.	Balanceo dinámico.....	101
14.	Martillo de molienda reparado.....	102
15.	Balace dinámico tándem .....	103
16.	Soldadura ampliada MIG.....	106
17.	Tanque de argón.....	109
18.	Tanque de helio .....	111
19.	Tanque de dióxido de carbono CO <sub>2</sub> .....	114
20.	Representación de proceso de soldadura MIG/MAG .....	116
21.	Soldadura MIG/MAG .....	117
22.	Equipo de soldeo .....	121
23.	Posición y espesor del electrodo en la soldadura MIG/MAG .....	129

24.	Elementos básicos para la soldadura .....	132
25.	Levantamiento de base para aleación de revestimiento en el martillo .....	133
26.	Aleación de revestimiento en el martillo.....	134
27.	Esquema de dureza de Rockwell HRC .....	139
28.	Secuencia de ensayo de dureza Rockwell .....	140
29.	Martillo con recubrimiento duro.....	141
30.	Martillo reparado con acero al manganeso tipo Hadfield .....	148
31.	Defectos comunes en aplicación de recubrimiento.....	150
32.	Tipos de fracturas superficiales .....	152
33.	Porosidades.....	155
34.	Fusión incompleta.....	157
35.	Penetración incompleta .....	159

## TABLAS

I.	Medidas de seguridad del molino de martillos .....	57
II.	Pasos para operar el molino de martillos .....	58
III.	Rendimiento de los martillos nuevos .....	59
IV.	Costo de martillos nuevos.....	60
V.	Rendimiento de los martillos recuperados .....	68
VI.	Comparación martillos nuevos y reparados.....	68
VII.	Costos de martillo recuperado .....	69
VIII.	Diferencias entre martillos nuevos y regenerados por un taller .....	69
IX.	Causas posibles medidas correctivas para defectos de fractura y grietas.....	153
X.	Causas y soluciones de porosidad .....	156
XI.	Hoja de inspección de defectos de soldadura .....	171
XII.	Hoja de inspección visual .....	172

XIII.	Hoja de inspección de geometría .....	174
XIV.	Análisis beneficio .....	176
XV.	Análisis costo-beneficio.....	176





## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Ar</b>	Argón
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>Fe</b>	Hierro
<b>h</b>	Hora
<b>l</b>	litros
<b>Mn</b>	Manganeso
<b>M</b>	Metros
<b>Min</b>	Minutos
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Q</b>	Quetzal
<b>Tm</b>	Tonelada
<b>u</b>	Unidades



## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	Es la acción de quitar o arrancar algo mediante fricción.
<b>Agentes atmosféricos</b>	Estos pueden ser los responsables de la destrucción de las rocas en los diversos procedimientos de meteorización que existen. Los agentes atmosféricos más activos con elevado grado de humedad.
<b>Barbotina</b>	Es la mezcla de agua y arcilla. No es simplemente arcilla líquida, ya que es importante provocar que la arcilla levigue; en otras palabras, es inducir la dispersión de partículas de la pasta de arcilla creando una emulsión.
<b>Bruñido</b>	Se le denomina al proceso de dar brillo a una superficie metálica o de piedra.
<b>Caolín</b>	Es el nombre que recibe la arcilla en la que sobresale el mineral; puede tener un color blanco, aunque puede poseer varios colores debido a las impurezas; brillo generalmente arcilloso mate.
<b>Esmaltado</b>	Se le denomina al revestimiento de esmalte que posee un cuerpo.

<b>Feldespatos</b>	Se le nombra al conjunto de minerales compuestos por silicatos dobles de aluminio y de calcio, sodio, potasio.
<b>Granulometría</b>	Se le llama a la clasificación de la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación rocosa, así como de los suelos.
<b>Homogeneización</b>	Es un proceso por medio del cual se hace que una mezcla presente las mismas características entiende que se realiza una mejora en la calidad final del producto.
<b>Impurezas</b>	Sustancia agrupadas en partículas extrañas a un cuerpo que, al combinarse con este, le hacen perder su pureza.
<b>Materia prima</b>	Se les denomina al componente principal natural o artificial que se convierte industrialmente para crear un producto para la venta.
<b>Micras</b>	Es una unidad de longitud semejante a una milésima parte de un milímetro.
<b>Molienda</b>	Es el proceso que consiste en clasificar una materia sólida, específicamente, en granos o frutos, golpeándola con algo o frotándola entre dos piezas duras hasta reducirla a trozos muy pequeños, polvo o líquido.

<b>Monococción</b>	Se le llama así a la cocción del proceso cerámico, desde un estado completamente crudo hasta su completa vitrificación.
<b>Mypimes</b>	Se les llama así a las pequeñas compañías que tienen a su cargo 1 trabajador hasta 20 empleados con anuales ventas.
<b>Nódulos</b>	Es la masa mineral globular que poseen en el interior de ciertas rocas y es de distintos componentes o estructuras.
<b>Paralelepípedo</b>	En un cuerpo geométrico conformado por seis paralelogramos, los cuales son iguales y paralelos con los opuestos entre sí.





## RESUMEN

En muchos procesos industriales tienden a presentarse mecanismos de desgaste que reducen considerablemente la vida útil de las piezas, esto equivale a una reposición de piezas por nuevas a altos costos en las reparaciones; para contrarrestar de alguna manera se recurre a procesos de soldadura en la recuperación de piezas, un molino de trituración de arcilla requiere 12 martillos.

Cada una de estas máquinas trabaja 24 horas, un martillo se cambia de lado cada 25 días y cada 50 días se retira el martillo para su recuperación; cuando este cambio no es realizado, en tiempo según programa de reparación; los trozos de arcilla quedan fuera de dimensión, la materia prima (arcilla) no es triturada de la manera correcta, los costos se elevan y el proceso de recuperación es más largo; la función del molino de martillos es pulverizar la materia prima por lo que el estado de los martillos cumple una función muy importante en el proceso.

Para una reparación exitosa, el primer paso es recolectar la información específica y exacta. Es importante saber las dimensiones y el mecanismo de desgaste, el sitio donde la reparación se realizará y la disponibilidad del equipo de soldadura. La información sobre el molino de trituración que será reparado, es importante que el área desgastada se estudie para determinar cuidadosamente como lograr una mejor recuperación.

El propósito de un procedimiento por medio de soldadura es identificar todas las variables necesarias para completar la reparación. Este procedimiento

normalmente consiste en detalles técnicos especificados en soldadura. Se incluye en este procedimiento; la posición de soldadura, dimensión, diámetro de los consumibles y clasificación. Los tratamientos térmicos del material, tratamiento pre y post de calor y la limpieza deben ser considerados. Parametrizar el amperaje, voltaje, prolongación eléctrica y procedimiento para aplicar la soldadura.

Basándose en lo anterior se realizó la recuperación de martillos por medio de soldadura, que aplica capas de soldadura para rellenar y dar las dimensiones necesarias, para luego aplicar máximo dos pasos o capas de soldadura de mayor dureza.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Recuperar martillos de molienda de arcilla por medio del proceso de soldadura MIG/MAG.

### **Específicos**

1. Definir el proceso de molturación de arcillas para la fabricación de pisos.
2. Incrementar el rendimiento de los martillos por medio del proceso de recuperación por soldadura para la trituración de arcilla.
3. Señalar los tipos de mecanismos de desgaste que inciden en el proceso de trituración de arcilla.
4. Aprovechar las técnicas y procesos existentes de soldadura, para aumentar la duración de los martillos.
5. Comparar los beneficios del proceso de soldadura MIG/MAG utilizado para recuperación de piezas con piezas nuevas.



## INTRODUCCIÓN

La presente tesis consiste en un estudio de ingeniería denominado: *Recuperación de martillos de molienda de arcilla por medio del proceso de soldadura MIG/MAG*. En la industria cerámica dedicada a la elaboración de pisos y azulejos la producción tiende a ser elevada; mantener un nivel de producción alto es importante para cualquier empresa dedicada a la industria; muchas empresas buscan ser más competitivas en el mercado, para esto se necesita mantener calidad, diseño y durabilidad en los productos.

El proceso de la trituración de arcilla (utilizada para la pasta base de los pisos y azulejos cerámicos) se realiza por medio de molinos de martillos que son fundamentales en las líneas de preparación de arcilla por vía seca; la capacidad de molienda de estos martillos es de 30 toneladas de arcilla por hora, el tiempo aproximado de la duración de martillos es de 50 días; por medio del siguiente trabajo de graduación se estudiará el proceso de recuperación de los martillos de molienda.

La aplicación de soldadura en la recuperación de las piezas y aplicación de recubrimientos protectores para prologar aún más la existencia de las piezas, son procesos que representan disminución de costos, ya que se busca prolongar la vida útil, también; realizar un cambio de martillos por piezas nuevas representa un costo muy elevado para cualquier empresa.



# **1. FABRICACIÓN DE PISOS Y AZULEJOS CERÁMICOS EN LA INDUSTRIA**

La cerámica es el arte de fabricar objetos artísticos, utilitarios o mixtos, utilizando arcilla como materia prima, la que, después de modelada, debe ser horneada a una adecuada temperatura a fin de que dichos objetos adquieran sus características definitivas, estéticas, de color, resistencia, entre otros.

Los pisos se consideran como unidades arquitectónicas o estructurales en sentido horizontal y con funciones específicas determinadas por el propósito arquitectónico entre las que pueden mencionarse: áreas de trabajo, de recreo, de estar, habitaciones, entre otros.

Los pisos pueden estar diseñados para soportar: abrasión o desgaste, impactos, aislamientos térmicos o acústicos; incluye funciones decorativas u otras funciones específicas como los fabricados con materiales aislantes.

Para el uso de baldosas u otros productos cerámicos se ha aconsejado que estos tengan un mínimo de quince días de ser fabricados, para evitar problemas de humedad y filtraciones; con el transcurso del tiempo, el poro se va cerrando y adquiriendo cierta impermeabilidad; un tratamiento podrá ser saturación de agua de cal con cemento o bien empleando productos impermeabilizantes basado en silicones o dispersiones plásticas.

De acuerdo con la Cámara de Industria de Guatemala (CIG): la producción en cerámica se concentra para la industria de la construcción (tejas, pisos,



fachaletas, azulejos); cerámica de colección, vajillas decorativas, cristalería y otros para hoteles.

Esta industria está conformada por empresas grandes, y más de 100 artesanales. La producción artesanal de productos de cerámicas en Guatemala se encuentra prácticamente en todo el país; estimando que el 90 % de ella proviene de las regiones del centro, metropolitana, altiplano occidental, y las verapaces.

Existen talleres donde el nivel de producción es grande (200 y 300 piezas al mes); no se puede catalogar de artesanal por el nivel de producción, pero tampoco como industrial ya que sus procesos de producción aún incluyen métodos y procedimientos artesanales; dichos talleres o MYPIMES se pueden catalogar como semiindustriales.

Por la experiencia de cada empresa fabricante las especificaciones de trabajo tales como características de producción, pruebas de calidad, procesos manufactureros, entre otros, varían según el régimen de utilidad y garantía que ofrezca la empresa fabricante.

En esta etapa se hace referencia a 3 tipos existentes de producción de pisos y azulejos en este medio; entre los cuales se tienen: artesanal, semiindustrial e industrial.

### **1.1. Producción de pisos y azulejos de forma artesanal**

El barro consta de una base arcillosa mezclada con otros compuestos minerales y agua en cantidad adecuada. La arcilla se presenta en forma primaria y secundaria. En el primer caso se trata de material de estado mineral,

compuesto generalmente de feldespatos derivados de la descomposición química de las rocas, silicatos de aluminio, óxidos de hierro, óxidos terrosos de poca plasticidad de metal alcalino; en el segundo caso, de materiales transportados por el viento y el agua desde los depósitos primarios y contaminados por impurezas (por ejemplo, la arcilla roja que contiene una elevada cantidad de un compuesto ferroso): este tipo de arcilla posee un elevado grado de plasticidad. En ambos casos hay que realizar una serie de correcciones durante la preparación del barro: se mezclan arcillas primarias con arcillas secundarias y viceversa.

La preparación del barro, generalmente logrado por compresión, tiene lugar después del lavado y decantación que se realiza una serie de cubetas en pendiente; o, como en el caso del caolín chino, una porcelana de pasta dura obtenida sometiendo el material una vez extraído de las minas a la acción de los agentes atmosféricos: viento, lluvia y sol, durante un periodo de treinta a cuarenta años.

### **1.1.1. Fases**

Las fases de trabajo son prácticamente las mismas, desde los métodos primitivos hasta las técnicas más modernas y elaboradas. Su proceso consta de una serie de etapas sucesivas fijas para todos los tipos de producción, preparación del barro o pasta, modelado, impermeabilizado, decoración y cocción.

Ladrillo fabricado con procedimientos predominantemente manuales. El amasado o moldeado es hecho a mano. El ladrillo producido artesanalmente se caracteriza por variaciones de unidad a unidad. El proceso de fabricación está conformado de las siguientes fases:

#### **1.1.1.1. Extracción del material**

La extracción de la arcilla es la primera fase del proceso de fabricación. Es extraída de los depósitos de arcilla, que se encuentran al pie de colinas o en tierras agrícolas cercanas a ríos, haciendo uso de piochas, azadón o pala; transportada en camión o picop a las fábricas artesanales. La excavación manual en plantas de pequeña y mediana escala generalmente se realiza a una profundidad menor de dos metros. Los criterios para seleccionar una localización adecuada son la calidad de la arcilla, disponibilidad a nivel superficial y la cercanía de una vía transitable, ya que estos factores inciden en el costo del ladrillo como producto final.

#### **1.1.1.2. Tratamiento del material**

Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción hay que someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogeneización y reposo al aire libre, con la finalidad de obtener una adecuada consistencia, un secado tangente y una uniformidad de las características físicas y químicas deseadas.

El reposo a la intemperie tiene la finalidad de facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución de los nódulos para impedir las aglomeraciones de partículas arcillosas. La exposición a la acción atmosférica (aire, lluvia, sol, entre otros) favorece además la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente y permite la purificación química y biológica del material. De esta manera se obtiene un material completamente inerte y poco dado a posteriores transformaciones mecánicas o químicas.

### **1.1.1.3. Amasado**

Es la parte del proceso donde se coloca la materia prima (arcilla y arena limosa) humedecida en una superficie espaciosa al aire libre, donde el artesano la somete a un amasado utilizando los pies y manos, con el fin de eliminar cuerpos extraños que son detectados y dotar de flexibilidad y homogeneidad a la mezcla.

### **1.1.1.4. Reposado o madurado**

El propósito de esta fase del proceso es que la mezcla pierda agua de manera natural y presente mejor trabajabilidad; para lograr esto se deja la mezcla en reposo cubriéndola con un plástico en un período aproximado de 12 a 15 horas.

### **1.1.1.5. Moldeado**

La forma más sencilla de modelado tiene lugar presionado con los dedos el barro o modelando rollos de arcilla que se enrollan en espiral, sistema que todavía se utiliza entre civilizaciones primitivas. A los objetos no redondos o aquellos de grandes dimensiones, se les aplica la técnica del molde (moldes de yeso o de otros materiales). Los alfareros griegos utilizan moldes de barro cocido.

Los artesanos primero colocan una fina capa de arena sobre la superficie del suelo para evitar que el ladrillo se pegue, seguido toman un volumen de la mezcla y la vierten en un molde (generalmente, de aluminio para mayor duración) paralelepípedo con cuatro espacios para producir igual cantidad de ladrillos en cada tanda; luego, presionan con el puño la mezcla en el molde para

eliminar los vacíos y eliminan con la mano o una pieza de madera la mezcla sobrante y se levanta el molde, teniendo cuidado de no deshacer los ladrillos fabricados.

#### **1.1.1.6. Secado**

El secado es el proceso durante el cual la composición arcillosa pierde una gran cantidad de su contenido de agua, que disminuye de un 8 % a un 15 %, dando a la pasta un aspecto compacto. Una mayor desecación puede originar una disminución posterior del contenido de agua no combinada. El secado se realiza directamente al aire, colocando el producto sobre repisas bajo techumbre o en un ambiente apropiado de temperatura caliente, constante, uniforme.

Una vez que el ladrillo ha sido moldeado, el agua adicionada para alcanzar la plasticidad apropiada, debe ser removida completamente antes del proceso de cocción, esto debe hacerse en un lugar fresco y aireado, alejado de las fuentes de calor y las corrientes de aire. El tiempo de secado es variado, puede tomar de una a tres semanas, según las condiciones del clima.

#### **1.1.1.7. Cocción**

La cocción se realiza en hornos discontinuos, estos estarán fríos cuando se coloquen los productos a cocer; a continuación, se eleva la temperatura progresivamente hasta obtener el punto óptimo previsto para cada pasta; luego, se va enfriando lentamente.

Constituye la última fase del proceso de fabricación, mediante la cual se somete al fuego la arcilla moldeada y seca a una temperatura que oscila entre

los 900 y 1 000 grados Celsius, para producir una sinterización intensa de la arcilla y una vitrificación adecuada.

Además, la cocción es la operación más difícil y delicada del proceso porque el buen resultado del producto depende de la dosificación de la temperatura, de su velocidad y del comportamiento de los gases que se forman durante la combustión.

#### **1.1.1.8. Impermeabilización**

La impermeabilización es la operación que se realiza para dar al objeto precisamente por su función de recipiente de líquidos, un carácter impermeable. Los pasos son múltiples: bruñido, barnizado, engobe, cubierta, según el tipo y la calidad del producto.

#### **1.1.1.9. Decorado**

El decorado está vinculado en gran parte al recubrimiento impermeabilizante y al proceso de cocción por estratos sucesivos; varía de forma radical según el producto, según el comportamiento de los barnices y, sobre todo, según el grado de fusión de los óxidos que constituyen la base principal de los colores, o bien por el proceso de dorado; el método de la impresión calcográfica, que permite la repetición del dibujo decorativo, forma parte de los sistemas de decoración a partir de la segunda mitad del siglo XVIII.

### **1.2. Producción de pisos y azulejos de forma semiindustrial**

Este proceso es una combinación del proceso artesanal y se caracteriza por la utilización e implementación de máquinas mecánicas y eléctricas. El

proceso de industrialización, al utilizar la energía mecánica ha modificado parcialmente los métodos relativos a la preparación de los barros. El desmenuzamiento de los materiales se hace por medio de molinos de agua apropiados.

El moldeo se realiza mayormente a máquina, pero el trabajo a mano aún existe para algunas piezas de gran valor. Este moldeo es diferente si la pieza es plana o hueca. En este periodo se introdujo la prensa de vapor.

Con el descubrimiento de nuevas técnicas de preparación de la pasta sobre todo con la utilización de nuevos combustibles (en Inglaterra, a mediados del siglo XVIII, el carbón fósil sustituyó en gran parte a la leña) se introdujeron modificaciones en los hornos; se inaugura un sistema más perfeccionado de muflas para la cocción de objetos de porcelana, que impide así que los gases de combustión pudieran oscurecer la delicada y preciosa cubierta exterior de los objetos.

### **1.2.1. Materia prima**

La materia prima primordial en la elaboración es la arcilla como ya se mencionó anteriormente, la arcilla es el material indispensable en la cerámica. En todo el mundo hay yacimientos de arcilla utilizables en cerámica, en gran variedad de tipos, pero no todas se caracterizan por estar en todos los lugares del país. Las dos cualidades que tienen importancia fundamental para los ceramistas son:

- La capacidad de formarse en estado plástico
- La capacidad de cocción

## **1.2.2. Fases**

La producción de pisos y azulejos de forma semi-industrial, depende directamente del tipo de arcilla que se utilice, libre de impurezas, mezcla homogénea, entre otros,; en el siguiente apartado se muestran las fases de dicho proceso.

### **1.2.2.1. Preparación de la pasta**

En este proceso es donde se mezclan tres elementos principales: arcilla, desengrasantes y agua, para lograr diferentes pastas para trabajar la cerámica. En este proceso es necesario que cumplan con algunas condiciones:

- **Depuración:** la pasta no puede tener grumos que puedan producir alguna perturbación en el tratamiento posterior y que pueda generar anomalías en el secado y la cocción.
- **División:** es necesario que el material pase por la trituración y molido.
- **Homogeneidad:** la arcilla y el desengrasante deben mezclarse muy bien.
- **Humedad:** se necesita la cantidad justa de agua que permita una perfecta combinación con la arcilla y el desengrasante

### **1.2.2.2. Moldeado**

Este proceso, como su nombre lo indica, consiste en moldear la pieza dependiendo la función que esta va realizar, ya sea por medio de un moldeado manual o automático por medio de una maquinaria especial.



El porcentaje de humedad que se genere en este proceso es vital para el siguiente proceso que es el secado de las piezas; de este porcentaje dependerá el tiempo que la pieza necesita y se tardará para llegar al horno, los sistemas que producen piezas con menor cantidad de agua son el prensado en seco (4 % de humedad) y el prensado en semiseco (10 % - 15 % de humedad). Los sistemas de colada y vaciado son los que producen piezas con mayor porcentaje en agua y oscila entre los 60 % - 75 %.

Para estos tipos de moldeo es necesario utilizar moldes que en su mayoría están hechos de yeso y son conocidos como taseles. Hay materiales alternativos como el látex que no es tan común en la industria pero es igual utilizado para este proceso.

### **1.2.2.3. Secado**

El secado al igual que el horneado es el paso más importante de la producción de cerámica, debido a que la pieza y su acabado final depende de la cantidad de agua que pierda antes de entrar al horno; ya que si la pieza aún posee gran cantidad de agua, esta pieza estallará dentro del horno debido a las altas temperaturas que se manejan en ese proceso.

El objetivo principal del secado es la reducción del contenido de agua de las piezas antes del horneado, es una operación compleja en la que influyen muchos factores:

- Naturaleza de la arcilla.
- Preparación y homogenización de la pasta.
- Manejo de la pasta en el proceso de moldeo.

- Diseño y estructura de la pieza, uniformidad o des uniformidad de secado, entre otros.

La calidad y tiempo de secado que se lleve a cabo en este proceso influirá en el resultado final de la pieza luego del horneo. El reto más grande del secado es evitar que la contracción que sufre la pieza al paso del tiempo con la pérdida de agua, origine agrietamientos y roturas. Este factor controla la velocidad de secado ya que un secado excesivamente rápido puede agrietar la pieza. Para eliminar estos defectos en las piezas hay que evitar que los gradientes de humedad en la pieza sean bruscos; por lo tanto, se busca que este proceso sea constante y homogéneo para evitar estos problemas.

#### **1.2.2.4. Horneo/cocción**

El horneo o cocción es una de las partes importantes de este proceso, debe realizarse de forma prudente y lenta para evitar problemas y malos resultados; es un factor fundamental el producto que se desea hornear y el tipo de horno que se utilice.

En este proceso, las temperaturas llegan a ser muy elevadas y la cantidad de calor que se aplique a la pieza dependerá del tipo de arcilla y los esmaltes que esta esté utilizando. Influye también la cantidad de veces que la pieza necesita ser horneada.

El horneo se podría definir en tres etapas importantes:

- Calentamiento uniforme: proceso donde se procede a encender el horno tratando que este tenga una temperatura uniforme y que evite que la pieza sufra desperfecto al momento de llegar a las altas temperaturas.

- Cocción: en esta etapa la pieza está expuesta a altas temperaturas donde los minerales y componentes de la pieza empiezan a soltar sus químicos y a reaccionar para obtener el resultado deseado; en esta etapa es donde se da a relucir los problemas que tuvo la pieza en los procesos anteriores; es acá donde la pieza reacciona según como fue tratada.
- Enfriamiento: como lo indica la etapa, es donde la pieza ya está a punto de finalizar con el proceso y muestra los resultados con el paso que vaya enfriando y atenuando los colores y esmaltes.

### **1.3. Producción de pisos y azulejos de forma industrial**

La utilización de las máquinas para la fabricación de las piezas, es la característica de este proceso, de tal forma que todo el proceso es en línea. Hoy en día las fabricas industriales, han optado por automatizar sus procesos, desde la preparación de la pasta hasta la cocción de las mismas, el procesos de producción se desarrolla de igual forma para pisos y azulejos.

Los productos elaborados con base en diversos minerales no metálicos, son molidos en molinos de martillos, pendulares o molinos de bolas, los cuales son almacenados en silos de gran tamaño para uniformizar su humedad. Desde los silos el polvo se envía a las prensas para el formado (con ayuda de moldes), del producto cerámico en sus diferentes formatos. El producto moldeado es pasado a través de un secador para quitar los remanentes de humedad antes de pasar al primer horneado.

En el proceso de esmaltado, se le aplicarán a las piezas cocidas las diferentes capas de esmalte que le darán al producto la belleza estética y en el caso de los pavimentos las características de tráfico.

Después del esmaltado, el producto es horneado por segunda ocasión a una temperatura que oscila entre los 1 040 °C – 1 140 °C, el cual acabará de sintetizarse y así obtener las propiedades mecánicas deseadas.

### **1.3.1. Fases**

En este proceso se cuenta con el equipo necesario y adecuado para la producción de mayores cantidades de ladrillos con un estricto control de calidad en todas las fases de producción.

#### **1.3.1.1. Extracción del material**

Los métodos de explotación de las materias primas dependen de la naturaleza de los yacimientos, así como de la capacidad de producción de la planta.

#### **1.3.1.2. Tratamiento del material**

La calidad de los productos está directamente relacionada al grado de preparación de las materias primas, por lo que esta debe efectuarse de tal forma que se obtenga una mezcla suficientemente homogénea. Primero, los componentes indeseables (raíces, piedras, entre otros.) en la arcilla deben ser removidos; seguidamente, se tritura, se muele y se adiciona el agua requerida que previamente mediante ensayos se ha determinado.

Cuando la plasticidad es muy alta esta puede modificarse adicionando otra arcilla menos plástica o arena, de acuerdo a las evaluaciones tecnológicas realizadas en los laboratorios. Cualquiera que sea la mezcla debe ser uniforme

y homogénea de tal forma que se logre una buena trabajabilidad que facilite el moldeo de los productos.

#### **1.3.1.3. Modelado**

El moldeo es el nombre dado al proceso formado de la pasta mediante la aplicación de presión, con lo cual se obtienen productos de diferentes formas. El moldeo en forma mecanizada puede efectuarse por cualquiera de los siguientes métodos:

- Extrusión en húmedo
- Prensado en semiseco
- Prensado en seco

El método más empleado para niveles intermedios de producción es el de extrusión en húmedo, mediante el cual se elaboran productos de diferentes formas y de una alta calidad.

#### **1.3.1.4. Secado**

Una vez que el artículo ha sido formado, el agua adicionada para alcanzar la plasticidad apropiada debe ser removida completamente antes del proceso de cocción. Para realizar esta etapa del proceso, existe gran variedad de secaderos y la utilización de uno dependerá del análisis de factores como: combustible, tiempo, costos, entre otros, que vienen a definir su eficiencia.

### 1.3.1.5. Cocción

El objetivo fundamental al quemar un artículo cerámico es obtener un producto duro y resistente; independientemente, del tipo de horno que se emplee, se deben cumplir las siguientes etapas:

- **Secado:** la etapa de secado es el período durante el cual los artículos se calientan a una temperatura cercana a los 300 hasta los 800 grados Celsius y en el intervalo se presentan cambios físicos y químicos. Es en este rango donde la arcilla se descompone parcialmente y se libera el agua de constitución.
- **Pre calentamiento y fuego máximo:** la etapa de fuego máximo se inicia a aquella temperatura a la cual el horno se puede calentar tan rápido como sea posible, sin ningún riesgo de daño a los productos. Se inicia aproximadamente a los 800 grados Celsius y va hasta la temperatura máxima de cocción predeterminada mediante ensayos tecnológicos.
- **Acabado:** la etapa de acabado es aquella durante la cual se mantiene la temperatura máxima de control para que se realicen las reacciones y se den por terminados algunos cambios internos en el cuerpo del producto que permitan alcanzar ciertas propiedades deseadas. En esta fase, la temperatura permanece constante durante un intervalo de tiempo definido y que es específico para cada producto y aún para cada pasta.
- **Enfriamiento:** se inicia desde el momento en que se suspende el suministro de combustible, por lo cual la temperatura comienza a descender hasta un valor al cual los productos pueden retirarse del horno. Esta etapa debe realizarse, así como la elevación de temperatura,

de acuerdo a una curva de cocción que se debe determinar previamente y que igualmente es característica para cada pasta y tipo de producto.

#### **1.3.1.6. Hornos**

Referente a los hornos donde se efectúa el quemado de los artículos, existen diferentes clases y variedades que bien pueden clasificarse así:

- Hornos intermitentes
  - Tiraje vertical
  - Tiraje horizontal
  - Tiraje invertido o de llama invertida
  
- Hornos continuos o de carga fija y fuego móvil
  - Hoffmann
  - Zig – Zag
  - Galerías paralelas
  
- Hornos continuos de carga móvil y fuego fijo

## **2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE PISOS CERÁMICOS**

### **2.1. Molienda y humectación de arcilla**

Este proceso inicia cuando se extraen las materias primas (arcillas) de diferentes canteras, las cuales son trasladadas a los patios de la fábrica para ser mezcladas proporcionalmente con carbonato de calcio y posteriormente secadas para ser guardadas en graneros para su utilización durante todo el año.

Un cargador frontal transporta la arcilla de los granos hacia una tolva principal, la cual por medio de un dosificador-vibrador alimenta un molino de impacto de 40 hp, cuyo propósito es de reducir las partículas grandes a un tamaño menor. Luego, por medio de un elevador y una cinta, se traslada a un molino pendular (de 8 toneladas por hora), el cual muele la arcilla a una granulometría del 78 % de un tamiz mesh 320; la arcilla se traslada por medio de transportador sin-fin y un elevador hacia los tamices, que a su vez envían la arcilla a una humectadora la que tiene como función proporcionar a la arcilla una humedad del 8 %, aproximadamente, para que pueda ser fácilmente prensada. Posteriormente, la arcilla se acumula en silos de reposo por un tiempo no menor a 24 horas para que la humedad se homogenice.

En referencia a la molienda de sólidos, se entiende toda una serie de operaciones tendentes a la reducción de las dimensiones de los materiales, que va desde la pretrituration gruesa hasta una pulverización extrema. La molienda no pretende solamente obtener pequeñas partículas de un tamaño de partida aproximado, sino más bien de producir un material con un determinado



diámetro medio de partícula y una distribución granulométrica adecuada para el producto que se quiere obtener.

En general, los objetivos finales del proceso de reducción de las dimensiones de los sólidos son varios, pero se puede considerar que el aumento de la superficie específica de los materiales permite conseguir una elevada homogeneidad de la masa y, además la obtención, a continuación, de las reacciones químicas más completas en tiempos breves. El material resultante del proceso de la molturación presenta unas características diferentes si se efectúa por vía seca o por vía húmeda.

En líneas generales se puede decir que, se elige la molienda en húmedo para obtener una mayor reducción granulométrica de los materiales que componen la mezcla y para una mejor homogenización; mientras que la tecnología de molienda en seco puede utilizarse cuando se trata de materias primas muy homogéneas desde un punto de vista morfológico y de dureza, o cuando se deben elaborar materiales de calidad no excesivamente elevada o productos de bicocción en general.

La molturación vía seca es más habitual en el caso de los productos de cerámica estructural. Esta se realiza mediante molinos de martillos o pendulares, con el fin de reducir las dimensiones de los materiales arcillosos y de las impurezas. A continuación, se pasa a la etapa de mezclado y humectación, cuyo objetivo es reunir elementos de diferentes características para formar una única pieza que sea en todo momento homogénea.

### **2.1.1. Molienda por vía seca/ humectación**

En la molturación por vía seca, se produce una fragmentación del material, manteniéndose tanto los agregados como los aglomerados de partículas, siendo el tamaño de la partícula resultante (existen partículas superiores a 300 micras) superior al obtenido por vía húmeda (todas las partículas son inferiores a 200 micras). Al elegir el tipo de molturación a emplear, un factor decisivo lo constituye el coste de inversión a realizar en cada caso.

- Amasado y humectación

El material molido vía seca se somete a un primer amasado con un 10-15 % de agua y, generalmente es almacenado por un cierto tiempo. Posteriormente, y justo antes de ser introducido en la extrusora, es amasado de nuevo hasta obtener un 15 % - 20 % de agua total.

- Conformado de piezas por vía seca (extrusión)

El proceso de extrusión consiste en hacer pasar una columna de pasta, en estado plástico, a través de una matriz, mediante el empuje de un sistema propulsor. Una vez realizada la extrusión, el material obtenido se corta o troquea para obtener la dimensión de la pieza requerida.

El sistema propulsor puede ser de hélice, de cilindros o a pistón, pero el más empleado en la fabricación de baldosas cerámicas es el de hélice, por su elevada productividad y por su posibilidad de trabajar en régimen continuo.

Este tipo de conformado de pieza se emplea en la fabricación de objetos de sección constante, como son por ejemplo las piezas de gres rustico.

### **2.1.2. Molienda por vía húmeda**

En este proceso, las arcillas se introducen total o parcialmente en trituradoras de mandíbulas, y posteriormente se le añade agua. Esta composición se moltura en molinos de bolas o se deslía directamente. A la suspensión resultante (barbotina) se le elimina parte del agua que contiene, hasta alcanzar el contenido en humedad requerido (secado por atomización).

La molturación vía húmeda se lleva a cabo en un molino de bolas que trabaja en continuo. Se trata de un cuerpo cilíndrico o cilíndrico-cónico, cuyas paredes interiores están protegidas, y que gira alrededor de un eje horizontal. En el interior del tambor se coloca una carga de molienda (que suelen ser bolos de sílex o bolas de alúmina), con una distribución de tamaños apropiados para optimizar la molturación.

Por un lado del molino se introducen los sólidos mezclados con un 35 % de agua aproximadamente y el aditivo desfloculante que ayuda a mantener aquellos en suspensión y, por tanto, la molturación.

Por efecto de la rotación del tambor, las bolas son arrastradas a lo largo de las paredes hasta que caen en cascada, por lo que someten al material a moler a innumerables acciones de presión, de rozamiento y de choque por las mismas bolas y con las paredes del tambor.

Por el otro extremo del molino se obtiene el producto molturado en forma de suspensión, habitualmente denominado barbotina, y que resultara con un tamaño de partícula medio mayor o menor en función del tiempo que permanezca en el interior, de la velocidad de rotación y de la longitud del molino. La barbotina obtenida se pasa a través de un vibrotamiz para eliminar

las partículas superiores a 125-200  $\mu\text{m}$ ; y posteriormente, se mantiene en unos depósitos provistos de agitadores (balsas) para homogeneizar el producto y evitar que sedimente.

## **2.2. Prensado y secado**

El proceso de conformado más habitual y con mayor grado de implantación en la fabricación de baldosas cerámicas, es el prensado mediante prensas oleodinámicas; es ampliamente usado por motivos de productividad y la posibilidad de producir productos dentro de un amplio rango de tamaños y estrechas tolerancias y sin, prácticamente, contracción durante el proceso de secado. Debido a su flexibilidad y bajo coste es la técnica más utilizada para producciones de altas capacidades.

El prensado es la compactación y conformado simultáneos de un polvo cerámico o material granular (premezclado con los ligantes y lubricantes adecuados y pre consolidado de tal modo que tenga una fluidez elevada) y se lleva a cabo confinando el material en un molde rígido o flexible y aplicando una presión elevada para lograr la compactación. Existen dos tipos de prensado: uniaxial e isostático.

El prensado uniaxial es usado, comúnmente, para obtener piezas de espesor mayor de 0,5 mm y con relieves en la superficie en la dirección de prensado. Por su parte, el prensado isostático se usa para la obtención de productos con relieves en dos o tres dimensiones, formas alargadas como barras y tubos y productos muy masivos con una sección transversal de gran espesor; pero ambos utilizan el polvo cerámico preparado por los mismos procedimientos. El polvo se alimenta en forma de gránulos de dimensiones y deformabilidad controladas.

El moldeo de las piezas planas, debido a su forma sencilla (rectangular, cuadrada, entre otros), y a la pequeña relación espesor/superficie, se realiza por prensado unidireccional en seco en prensas de efecto simple, donde la presión se realiza solo en una de las superficies de la pieza. La sencillez de este método facilita su automatización y permite alcanzar producciones más elevadas que con otros tipos de prensado.

Los polvos cerámicos deben tener una distribución granulométrica y porcentaje de tamaños tal, que den lugar al menor número posible de huecos entre ellos, después de la compactación mediante prensado. Con ello se consigue una mayor compacidad y, por tanto, la máxima densidad en verde.

La compacidad de conjunto del polvo cerámico es la relación entre el volumen del mismo y su volumen de conjunto, que es el volumen interior del recipiente que lo contiene. A mayor compacidad menor volumen de huecos y, por tanto, menor porosidad, que será más fácil de eliminar en el posterior proceso de cocción, el cual determina la porosidad final del producto.

Las granulometrías obtenidas por análisis indican la distribución por tamaños de las partículas que componen el polvo cerámico y permiten determinar en qué proporciones se han de mezclar para obtener una granulometría resultante que se parezca lo más posible a una curva granulométrica ideal de compacidad máxima. El estudio del empaquetamiento es optimizado de modo que se obtenga la mínima porosidad y máximas propiedades del material cerámico.

Es decir, la acción de prensado se realiza por medio de prensas hidráulicas automáticas la cual se efectúa mediante la transformación de energía hidráulica en una fuerza de compactación. Esta máquina está

compuesta por una estructura mecánica, una central hidráulica y un automatismo electrónico. Como estructura, la máquina es muy simple, es prácticamente el órgano principal de movimiento y de empuje un pistón a doble efecto que se mueve dentro de un cilindro. Para la fabricación del azulejo cerámico, se utilizan prensas de 680 ton y 1 400 ton. De presión y para piso de 1 890 ton. Y 2 090 ton. Debido que la pieza a compactar es de un gran espesor y de área mayor que la del azulejo.

La prensa para realizar el prensado necesita de accesorios tales como el molde con punzones penetrantes y el carro de alimentación de polvo. El carro consiste en una reja porta-polvo y la transfiere por caída en la cavidad del molde de la manera más uniforme posible. El funcionamiento de la maquina es a través de varios movimientos realizados por el cuerpo móvil y los accesorios, a estos movimientos se les llaman ciclos, el cual se explica a continuación.

- Hay una primera fase de carga del polvo en el molde, durante la cual, el carro deslizándose bajo la tolva extrae el polvo y lo descarga sobre los alveolos del molde.
- Sigue la fase de cierre del molde y trabajo de los punzones mandados por los órganos previstos, se efectúa entonces una primera prensada la cual debe ser oportunamente dosificada su intensidad y la duración para favorecer la expulsión del aire del material. La expulsión del aire viene sobre todo en una fase siguiente denominada des aireación, en el cual se favorece la salida del aire del material disminuyendo la velocidad y abriendo parcial o totalmente el molde.
- Siguen después una o dos fases de verdadero prensado, en el cual usando de manera diferenciada la fuerza de la máquina, se tiende a

obtener suficiente resistencia mecánica y una buena compactación del producto.

- Se llega por fin a la fase de deformación con apertura del molde y extracción del azulejo. Esta operación, es simultánea a la carga del polvo en el alveolo con molde y el ciclo está completo. Los ciclos de trabajo de las prensas son de 14 a 18 ciclos por minuto para el piso y azulejo, respectivamente.
- Una vez concluye el prensado las piezas son transportadas por medio de unas mesas de rodillos, las cuales componen las filas dependiendo del formato, para poder ingresar al secador.

### **2.2.1. Secado**

El secado es una operación que consiste en eliminar el agua de un cuerpo, es decir suministrarle una cierta cantidad de energía que le permita eliminar las moléculas de agua fijadas. Esta energía que depende primariamente de la temperatura y del contenido de humedad de la atmosfera circundante a la sustancia a secar, a un determinado valor no es obstante suficiente para eliminar toda el agua fijada en materia sólida. En este caso, se establece una condición de equilibrio entre la sustancia solididad y la atmosfera del secadero en cuanto subsiste dentro del cuerpo una humedad residual que se elimina únicamente cuando se alcanza condiciones de secado con aporte de mayor cantidad de energía.

Es decir, que una vez se ha conformado el soporte de la baldosa cerámica, es necesario realizar el secado de la pieza, de esta forma se consigue reducir el contenido en humedad e incrementar la temperatura de las

piezas lo suficiente, para que la operación posterior de esmaltado y cocción se desarrolle adecuadamente.

Un secado correcto requiere una cuidadosa evaluación de los parámetros termo-higrométricos del proceso y una correcta formulación de la pasta. Estas condiciones se traducen en una limitación de la contracción para contener las deformaciones y en conferir al objeto la resistencia mecánica adecuada para resistir las tensiones de secado y permitir la manipulación en las siguientes fases.

Aunque los principios tecnológicos básicos inherentes al secado son equivalentes entre un secadero vertical y uno horizontal, al ser diferentes los ciclos, varían notablemente los tiempos en los cuales las tensiones (contracción, aumento de la resistencia mecánica, entre otros.) Se desarrollan, por lo tanto, las condiciones de trabajo de la máquina y las condiciones físicas del aire (temperatura máxima, velocidad, volumen y estado higrométrico) deben ser necesariamente diferentes para los dos tipos de secaderos, como se indica a continuación.

#### **2.2.1.1. Secadero horizontal**

Los secaderos horizontales se componen de estructuras metálicas modulares completas de paneles aislantes y tuberías externas aisladas, utilizadas para la recirculación del aire. Las piezas recorren la longitud del secadero sobre planos de rodillos de velocidad regulable.

La máquina está constituida por módulos iguales e independientes desde el punto de vista de las condiciones termohigrométricas y del caudal de aire de ventilación. Cada zona está equipada con sus propios generadores de aire



caliente. Normalmente, el módulo final del secadero está diseñado con vistas a estabilizar la temperatura de las piezas a su salida. Los ciclos de los secaderos horizontales son mucho más rápidos, de 15 a 25 minutos, con una temperatura de alrededor de los 350 °C; sin embargo, la duración, al igual que en los secaderos verticales, depende del tipo de composición, de la dimensión y del espesor de las piezas.

#### **2.2.1.2. Secadero vertical**

Un secadero vertical se compone esencialmente de un armazón vertical, dentro del cual se desplazan, arrastradas por dos cadenas, las cestas compuestas por diferentes planos de rodillos o bastidores donde se sitúan las baldosas a secar. Las baldosas se cargan automáticamente sobre los planos de las cestas mediante la rotación de los rodillos que las componen.

El secado se realiza por un flujo de aire caliente generado por quemadores de gas natural que, aprovechando el intercambio de calor por convección con las baldosas, permite obtener un producto adecuado para las siguientes fases de elaboración con baja humedad, buena resistencia mecánica y determinados valores de temperatura. Normalmente, los ciclos de los secaderos verticales son de 35 a 60 minutos, con una temperatura inferior de 200 °c; sin embargo, la duración depende del tipo de composición, de la dimensión y del espesor de las piezas.

### **2.3. Cocción del bizcocho**

La cocción es la fase central del proceso cerámico, caracterizada por un conjunto bastante complejo, de transformaciones físicas y reacciones que es necesario conocer para poder gestionar y controlar este proceso.

Es oportuno dar una indicación de aquellos fenómenos más importantes que se producen en un cuerpo cerámico durante la cocción teniendo en cuenta que diversos productos, pueden tener características de comportamiento diferente, y a veces contradictorio. En general se puede decir que en las diferentes fases de la cocción se producen los siguientes fenómenos.

- Próximo a los 100 °C se produce la eliminación del agua higroscópica de la humedad residual, después de una mal secado, o absorbida del ambiente.
- Próximo a los 200 °C se produce la eliminación del agua ceo lítica, cuyas moléculas están ligadas por absorción en la estructura cristalina.
- Entre 350 °C y 650 °C se produce la combustión de la materia orgánica, que en diversa cantidad puede estar contenida en la arcilla.
- Entre 450 °C y 650 °C, eliminación del agua de constitución.
- A 573 °C, transformación alotrópica del cuarzo (alfa a beta) determinando un brusco aumento de volumen.
- A partir de 700 °C formación de nuevas fases cristalinas.
- Entre 800 °C y 950 °C des carbonatación de la cal y de la dolomita.
- A los 1 140 °C cocción final de las piezas.

El horno de rodillos compone una estructura metálica modular, el interior está hecho con ladrillos refractarios, pared, suelo, bóveda y fibra cerámica

El avance del material por cocer está mandado por una rulera motorizada compuesta por tubos de acero o tubos cerámicos con características optimizadas para todas las temperaturas previstas de trabajo.

El sistema de movimiento de los rodillos está fraccionado en varios tramos, motorizados por motovariadores de velocidad independientes para conseguir el rendimiento óptimo de ciclo de cocción. De tal forma es posible recuperar de hecho los espacios entre fila y fila creados tanto por la contracción del material en cocción como del aumento de diámetro de los martillos por dilatación térmica. El sistema de combustión está compuesto de quemadores de gas (GLP) y aire soplado, de alta velocidad de llama y emisión de los productos de combustión directamente en el canal de cocción. Los quemadores están alojados en las paredes sobre y bajo el plano de los martillos.

Durante la cocción, las piezas sufrirán una serie de modificaciones temporales, como las de dilatación y contracción. Al finalizar el proceso, la pieza habrá sufrido una compresión definitiva reduciendo sus dimensiones desde un 0,9 % en piezas del grupo B III (s/normativa) hasta un máximo del 8 % en piezas de gres porcelánico. Es fundamental establecer una curva de temperaturas y un ciclo temporal adecuado bajo un continuo control, para evitar que las contracciones y dilataciones de la pieza produzcan daños irreversibles en la misma.

También, deben ser uniformes la temperatura y la atmósfera en cualquier sección del horno. Las variables fundamentales a considerar durante la cocción son el ciclo térmico (temperatura-tiempo) y la atmósfera del horno, que deben adaptarse a cada composición y tecnología de fabricación, dependiendo del producto cerámico que se desee obtener.

### **2.3.1. Clasificación en el área de cocción**

En la etapa de la cocción se puede realizar una clasificación dependiente del tiempo de duración de esta fase, que puede ser rápida o lenta, en función de dos aspectos principales:

- La materia orgánica presente en la pasta: Esta se ha de oxidar durante el proceso de cocción por lo cual, la reacción de oxidación limita la velocidad máxima permisible del ciclo de cocción. No se aconseja usar en ciclos de cocción rápida en pastas con compuestos de materia orgánica superior al 0,2 %, expresada en carbono.
- El tamaño de la partícula de la materia prima que compone la pasta: debe ser menor para los procesos de cocción rápida, a fin de que se completen las diferentes transformaciones fisicoquímicas a que tiene lugar en la cocción, y a que se eliminen las impurezas presentes. No se aconseja utilizar la cocción rápida en arcillas con presencia de impurezas, sobre todo si se han procesado por vía seca.

El material cerámico puede someterse a una, dos, o más cocciones (de hasta 1 250 °C, en el caso del gres). Las baldosas no esmaltadas recibirán una sola cocción, en tanto que las baldosas vidriadas podrán recibir una (proceso de monococción), o bien someterse a una primera cocción del soporte; luego, se le aplica el esmalte para someterlo a un segundo proceso de cocción (bicocción); y la posibilidad, una vez obtenido el producto acabado, de aplicarle una decoración adicional que se someterá a una tercera cocción a menor temperatura, de aproximadamente 620-780 ° C (tercer fuego). En este último caso, también, se ha desarrollado una industria paralela que solo se dedica a la

aplicación del tercer fuego luego de adquirir la pieza acabada a la cual se le aplica una nueva decoración.

La industria cerámica está orientada a la máxima reducción de los ciclos, con su consiguiente incremento de productividad, mediante la realización de una única cocción. Para pavimentos se ha aplicado con más facilidad y rapidez esta tecnología, por la menor desgasificación que presenta el soporte de pavimento con respecto al de revestimiento.

#### **2.3.1.1. Bicocción tradicional**

La monococción ha ido desplazando a la bicocción tradicional en los últimos tiempos, pero la bicocción aún se sigue usando en algunas fábricas. Para realizar la bicocción tradicional, se desarrolla la siguiente secuencia:

- La materia prima del soporte se prepara en molienda por vía seca.
- Se conforma la pieza por prensado en semiseco en prensas oleodinámicas.
- Se somete a un presecado estático y a un secado dinámico en secaderos tipo túnel.
- Se realiza una primera cocción del soporte en horno monoestrato de martillos.
- Tras una selección de soporte, se aplican los vidriados, y opcionalmente, las decoraciones.

- Se realiza la segunda cocción del vidriado en el mismo tipo de horno.

#### **2.3.1.2. Monococción**

A partir de la llegada del gas natural a España en 1980, se comienza a usar el sistema de monococción en horno monoestrato de martillos, con tecnología que ya se usaba en Italia desde mediados de los 70. La consecución de operaciones en el proceso de monococción es la siguiente:

- La materia prima del soporte se realiza por molienda por vía húmeda con su posterior atomizado.
- Se conforma la pieza por prensado en semiseco con prensas oleodinámicas.
- Se seca el producto en secaderos horizontales o verticales.
- Se esmalta y decora la pieza en crudo.
- Se realiza una única cocción de soporte y vidriado en una sola fase.

#### **2.4. Molienda de esmaltes**

Cuando se habla de esmaltado no se puede hacer sin mencionar la preparación del esmalte o barniz, y las tintas serigrafías. Es la sección de producción anterior a la aplicación y su conducción es siempre determinante para no tener problemas en operaciones posteriores.

Fundamentalmente, las máquinas que se encuentran en esta sección son: molinos de bolas, tamices, bombas de trasiego, depósitos y agitadores, mezcladores y dispersores para polvos y líquidos, entre otros.

El molino de bolas es un cilindro rotativo que gira alrededor de su propio eje, revestido interiormente de un material duro, generalmente de sílice, porcelana o alúmina, y dentro del cual están las bolas que son normalmente del mismo material que el revestimiento interno.

La molturación se produce por dos factores:

- Por percusión: la bola por la rotación del molino, al alcanzar cierta altura cae sobre el material.
- Por frotamiento y abrasión del material al rodar las esferas englobadas en el material.

El esmaltado consiste en la aplicación por distintos métodos de una o varias capas de vidriado con un espesor comprendido entre 75-500 micras en total, que cubre la superficie de la pieza.

Este tratamiento se realiza para conferir al producto cocido una serie de propiedades técnicas y estéticas: impermeabilidad, facilidad de limpieza, brillo, color, textura superficial y resistencia química y mecánica. Dependiendo del tipo de producto, de su temperatura de cocción, y de los efectos y propiedades a conseguir en el producto acabado, se formula una amplia variedad de esmaltes. Los compuestos fundamentales que se utilizan son: sílice (como formador del vidrio); alcalinos, alcalinoterreos, boro, cinc, entre otros (como fundentes);

circonio, titanio, entre otros (como opacificantes); y hierro, cromo, cobalto, manganeso, entre otros (como colorantes).

En el proceso de fabricación de azulejos cerámicos, en la fase de preparación esmaltes, se vienen utilizando materias primas de naturaleza vítrea (llamadas fritas), preparadas a su vez a partir de materiales cristalinos sometidos previamente a un tratamiento térmico de alta temperatura. Estas fritas son compuestos vítreos, insolubles en agua, que se obtienen por fusión a temperatura elevada (1 500 °C) y posterior enfriamiento rápido de las mezclas predeterminadas de materias primas. La gran mayoría de los esmaltes que se utilizan en la fabricación industrial de pavimentos y revestimientos cerámicos tienen una parte fritada en mayor o menor proporción en su composición; se puede tratar, en algunos casos, de una sola frita o de mezclas de diferentes tipos de fritas.

La utilización de fritas presenta las siguientes ventajas frente al empleo de materias primas sin fritar:

- Insolubilización de algunos elementos químicos.
- Disminución de la toxicidad: el material vítreo obtenido, por su tamaño y estructura, tiene menor tendencia a la formación de polvo ambiental que las materias primas de las que proviene; disminuye, de esta forma, el peligro asociado a su toxicidad (especialmente, sílice y plomo).
- Ampliación del intervalo de temperaturas de trabajo del esmalte, debido a que no poseen puntos definidos de fusión.



El proceso de fabricación de fritas (llamado fritado) tiene como objetivo la obtención de un material vítreo insoluble en agua, mediante fusión y posterior enfriamiento de las mezclas de diferentes materiales. El proceso comienza con una dosificación de las materias primas, previamente seleccionadas y controladas, en la proporción establecida. Mediante transporte neumático, se trasladan las diferentes materias primas a una máquina mezcladora. La mezcla de materias primas pasa a una tolva de alimentación, desde la que entra al horno, donde tiene lugar el fritado propiamente dicho. La alimentación del horno se lleva a cabo mediante un tornillo sin fin.

El tiempo de permanencia del material en el interior del horno viene definido por la velocidad de fusión de las materias primas y por la fluidez del material fundido. El horno está dotado de quemadores alimentados con gas natural, utilizándose como comburente aire u oxígeno. Estos sistemas permiten alcanzar temperaturas comprendidas entre 1 400 °C - 1 600 °C.

En muchos casos, los gases de combustión antes de ser expulsados al exterior a través de la chimenea se les hace pasar por un intercambiador de calor, con el fin de recuperar energía para precalentar el aire de combustión.

El proceso de fritado puede desarrollarse en continuo, empleándose hornos continuos con enfriamiento del fundido con agua o con aire; y en discontinuo, con hornos rotatorios y enfriamiento por agua.

Los hornos continuos tienen su base inclinada con el fin de facilitar el descenso de la masa fundida. En la salida se sitúa un rebosadero y un quemador que actúa directamente sobre el líquido viscoso en que se ha convertido la frita a la salida, que evita su brusco enfriamiento al contacto con el aire y facilita el vaciado en continuo del horno. El enfriamiento puede realizarse:

- Con agua. El material fundido cae directamente sobre agua, lo cual provoca su inmediato enfriamiento. Al mismo tiempo, y debido al choque térmico, se produce la rotura del vidrio en pequeños fragmentos de forma irregular. Estos se suelen extraer del agua mediante un tornillo sin fin, posteriormente son transportados un secadero para eliminarles la humedad del tratamiento anterior.
- Con aire. En este caso la masa fundida se hace pasar a través de dos cilindros, enfriados en su interior por agua, obteniendo un sólido laminado muy frágil, que se rompe con facilidad en pequeñas escamas.

El proceso en discontinuo se lleva a cabo en los casos en los que se desea fabricar fritas de menor demanda. El proceso de fusión se realiza en un horno rotatorio y normalmente el enfriamiento de la frita se realiza por agua; estas son las únicas diferencias con respecto al proceso continuo.

El horno rotatorio consiste en un cilindro de acero revestido interiormente con refractario y dotado de un sistema de movimentación que permite la homogeneización de la masa fundida. En un extremo del horno se sitúa un quemador que dirige la llama hacia el interior del horno.

Desde el punto de vista medio ambiental, la fritas permiten que los componentes de los esmaltes que de por sí son solubles o tóxicos se aporten siempre en forma fritada para reducir considerablemente su solubilidad (plomo, boro, alcalinos y algunos otros elementos minoritarios) para controlar mejor su toxicidad. Además, permiten diversificar mucho los efectos de decoración conseguidos con los esmaltes.

El proceso final de preparación de los esmaltes consiste normalmente en someter a la frita y aditivos a una fase de molienda (en molino de bolas de alúmina) hasta obtener un rechazo prefijado.

## **2.5. Esmaltación del bizcocho**

Como ya se mencionó el esmaltado consiste en la aplicación por distintos métodos de una o varias capas de vidriado con un espesor comprendido entre 75-500 micras en total, que cubre la superficie de la pieza. El esmaltado de las piezas cerámicas se realiza en continuo, las piezas son transportadas automáticamente en líneas o correas transportadoras que pasan por distintos puntos de aplicación: agua pulverizada, engobes, esmaltes, imprimaciones o fijadores, serigrafías, granillas.

Los métodos de aplicación más usuales en la fabricación de estos productos cerámicos son en cortina, por pulverización, en seco o las decoraciones por serigrafía, hueco-grabado, calcomanías, entre otros.

La serigrafía plana es la técnica mayoritariamente utilizada para la decoración de baldosas de cerámica, debido a su facilidad de aplicación en las líneas de esmaltado. Esta técnica se utiliza tanto en monococción como en bicocción y tercer fuego, y consiste en la consecución de un determinado diseño que se reproduce por aplicación de una o varias pantallas superpuestas (telas tensadas de una luz de malla determinada).

Estas pantallas presentan la totalidad de su superficie cerrada por un producto endurecedor, dejando libre de paso únicamente el dibujo que se va a reproducir. Al pasar sobre la pantalla un elemento que ejerce presión (rasqueta), se obliga a la pasta serigráfica a atravesarla, quedando la impresión

sobre la pieza. Actualmente, en la industria se ha introducido la técnica de serigrafía por martillo, rotocolor, que permite decoraciones en varios colores en un único cabezal de aplicación.

### **2.5.1. Técnicas de esmaltado**

A continuación, se describen las técnicas de esmaltado aplicadas en la fabricación de baldosas cerámicas.

#### **2.5.1.1. Esmaltado a cortina**

Cuando una baldosa cerámica pasa por debajo de la cortina de esmalte generada, se aplica una capa de dicho material, cuyo espesor va a depender de la velocidad de paso de la baldosa y de la cortina generada por el sistema. Por tanto, el sistema de aplicación, es decir, de generación de cortina, va a definir las características finales del producto.

- Sistema vela: en este sistema de aplicación de esmalte, la cortina se genera mediante presión con una bomba volumétrica.
- Sistema campana: sistema diseñado para crear un velo de esmalte por caída. Se compone de un plato de acero inoxidable pulido y rectificado, un sistema de alimentación mediante tolva anti burbujas, una llave de paso con aguja de aplicación, una bandeja de recogida de esmalte y postes de sujeción.

### **2.5.1.2. Esmaltado mediante pulverización**

- Pulverización a disco: se trata de un sistema que aplica el esmalte por centrifugación mediante un juego de disco de diferente diámetro (120-180 mm), que giran a una velocidad variable a una distancia de aproximadamente 40-50 cm de la baldosa cerámica a esmaltar.
- Pulverización mediante aerógrafo: este sistema permite la aplicación de pequeñas cantidades de esmalte por medio de un nebulizador.
- El sistema de nebulización *air-less* se utiliza para la aplicación de esmaltes cerámicos: engobes, cristalinas y protecciones. Consta de una bomba de tipo volumétrico continuo, para una presión de (5 a 30 Bar), accionada por un motor eléctrico, comandado por un variador de velocidad electrónico.

### **2.5.2. Técnicas de decoración**

Los procesos de decoración utilizados en la fabricación de baldosas cerámicas han sufrido una importante evolución durante los últimos años. Por un lado, la necesidad de lanzar al mercado productos con nuevos acabados estéticos y de mejorar la competitividad de las empresas, ha favorecido la irrupción de nuevos sistemas de decoración.

Por otro, los factores económicos, que impulsan continuamente la obtención de productos de alta calidad al menor coste posible, han provocado la mejora en los sistemas de fabricación, en los materiales y en los equipos utilizados para la decoración de las baldosas. Aunque se pueden decorar las piezas en varias etapas del proceso productivo, como en el prensado (mediante

la adición al soporte de diferentes materiales) o en etapas posteriores a la cocción (por deposición física de vapor o laser); en este apartado se tratan únicamente los sistemas que permiten plasmar motivos sobre la superficie de las piezas cerámicas en la línea de esmaltado, antes de la cocción, ya que son las aplicaciones mayoritarias.

#### **2.5.2.1. Decoraciones en seco**

- Decoración en seco o granillas: este sistema sirve para aplicar esmaltes en estado granular con una vasta gama de granulometrías. La recirculación puede realizarse a través de un circuito neumático, o a través de un elevador de tazas cerradas. La alimentación de los granulados se produce mediante la carga de una tolva por la que cae el granulado, por medio de un extractor, a una cortina homogénea sobre un rodillo o cinta transportadora o sistema distribuidor. Las granillas caen sobre la baldosa recubierta quedando adheridas en las zonas deseadas, previa aplicación de un reactivo.
- Decoración en prensa: el doble prensado es un sistema de decoración que se basa en un ciclo de prensado en dos fases para obtener piezas decoradas de gran tamaño. Primero, se instala una prensa de peso ligero en la línea para preparar el producto, esta se alimenta con atomizados de varios colores para realizar el diseño. Posteriormente, la segunda prensa aplica la presión más alta, dando lugar a un producto en condiciones para ser secado y cocido. En la fase de decoración se utilizan rodillos especiales que tratan las capas del producto seco.

#### **2.5.2.1.1. Sistemas de impresión por chorro de tinta**

Las técnicas más ampliamente utilizadas en la decoración de baldosas cerámicas son aquellas capaces de imprimir diseños sobre la superficie de la baldosa. Normalmente, estas técnicas de impresión utilizan tintas, las cuales están compuestas por pigmentos, fritas y un vehículo de naturaleza orgánica. Las técnicas más extendidas son las técnicas de impresión indirecta, que necesitan de un medio de transferencia.

Para depositar las tintas en las zonas requeridas, actualmente se está incorporando una nueva tecnología de impresión directa mediante inyección de tinta, en este tipo de técnica no es necesario un medio de transferencia, las tintas se depositan de forma controlada en la superficie de la baldosa cerámica.

#### **2.5.3. Máquina esmaltadora**

La línea de esmaltado o esmaltadora es una maquina provista de los aparatos necesarios para aplicar una caja de esmalte cerámico sobre las piezas, operación que anteriormente se hacía a mano. Está constituida por una bancada metálica de 105 metros aproximadamente de largo, 60 cm de ancho y 1,15 metros de alto. El movimiento y rotación se transmite a una serie de poleas y correas trapezoidales dispuestas a lo largo de la línea de manera de asegurar la continuidad de sostén y transporte.

Las correas son normalmente del tipo C y en los tramos donde se realizan las operaciones de aplicación se colocan las llamadas correas crestadas para disminuir las superficies de contacto entre correas y azulejo.

A lo largo de la línea están instalados tramos de correas y poleas, al final de cada tramo está instalado un moto variador mecánico (o moto reductor provisto de un variador electrónico de velocidad), el cual mueve los tramos.

Sobre la línea de esmaltado están instaladas una serie de máquinas, las cuales sirven para las distintas aplicaciones del azulejo. A continuación, se describirán las maquinas que se utilizan más comúnmente.

- Cabina de discos
  - Esta máquina está diseñada para la aplicación de esmaltes líquidos sobre el bizcocho a una.
  - Estas cabinas utilizan un paquete formado por varios discos de 120 a 180 mm de diámetro y espesor de 2mm.

- Campana

Este elemento de aplicación es la más empleada para depositar una capa consistente de esmalte de un modo uniforme sobre el bizcocho. Está constituida por una especie de campana de 66cm de diámetro, con una superficie lisa pulida, para garantizar que el esmalte se deslice suavemente.

- Goteado res a taza

Esta técnica es utilizada para la aplicación del esmalte a gota. Algunos efectos obtenibles son variados y están en función de la forma de la taza y de la abertura de la misma, de la velocidad de rotación y del tramo de transporte, de la altura de la taza, de la densidad y de la viscosidad del esmalte.



- **Aerógrafo**

El aerógrafo es un elemento que consiste en la pulverización o nebulizaciones del esmalte sobre la pieza con el auxilio de aire comprimido.

Este tipo de aparatos esta específicamente indicada para aplicaciones pequeñas de esmalte o más frecuentemente colores, finamente pulverizados distribuidos en un modo poco homogéneo sobre la pieza.

- **Máquina serigráfica plana**

El éxito de este sistema, relativamente reciente en cerámica respecto a otro tipo de industrias, está relacionado con la posibilidad de decorar objetos rígidos planos mediante deposición de tinta a través de una malla de estampación, su aplicación en la decoración de piezas ha permitido obtener industrialmente grandes tiradas de piezas iguales, con velocidad de trabajo suficientemente elevada (50 a 100 piezas por minuto).

La tinta se transfiere mediante de una espátula desde la pantalla al soporte, a través de una pantalla que reproduce la imagen deseada.

La espátula está dotada de un movimiento alternativo que puede ser en sentido perpendicular o paralelo a la dirección de avance de las piezas.

## **2.6. Cocción de las piezas esmaltadas**

Luego de que el bizcocho ha sido esmaltado y decorado, se transporta hacia la máquina de carga del horno, la cual tiene como propósito formar varias

filas para introducirlas al horno o apilarlas en un compensador cuando la velocidad de la línea es mayor a la capacidad de cocción del horno.

La cocción de las piezas esmaltadas se realiza en un horno similar al de bizcocho, la única diferencia es que la pieza esmaltada se cocina a una temperatura de 1 060 a 1 080 °C, ya que en esta fase se cocerá solamente el esmalte.

La cocción es la operación fundamental del proceso tecnológico, ya que da origen al material cerámico, transformando las materias primas de la pasta en nuevos compuestos cristalinos y vítreos que confieren al producto cocido unas propiedades concretas: insolubilidad y solidez que garantizan el mantenimiento de la forma, resistencia mecánica, porosidad o impermeabilidad, resistencia química, entre otros.

### **2.6.1. Tipos de cocción**

Como se había descrito anteriormente, los materiales cerámicos pueden someterse a una, dos o más cocciones.

- Proceso de cocción única: las baldosas no esmaltadas reciben una única cocción.
- Proceso de monococción: el esmalte se aplica directamente sobre la pasta prensada y cruda, ambas se cuecen simultáneamente para dar el acabado final.
- Proceso de bicocción: en este proceso la pasta prensada y cruda, se cuece para formar el bizcocho y, posteriormente se aplica el esmalte sobre este, que se cuece nuevamente para dar el acabado final.

- Tercer fuego: en algunos materiales se aplica una tercera cocción a baja temperatura para finalizar el proceso de decoración.

### **2.6.2. Hornos**

A fin de realizar una buena cocción del producto cerámico deben fijarse y/o controlarse adecuadamente los siguientes parámetros:

- Intervalo de cocción: es decir, rango de temperaturas entre el inicio de la vitrificación y el inicio de deformación. Este intervalo depende de las características de la pasta y debe ser lo más amplio posible.
- Temperatura máxima: depende del tipo de producto que se esté fabricando.
- Tiempo de permanencia a la máxima temperatura: Depende de la forma y dimensiones del producto, ya que es necesario un tiempo que permita la homogeneización de temperaturas en toda la masa de la pieza.
- Uniformidad de temperatura en el horno.
  - Atmósfera del horno
  - Ciclo de cocción

La determinación del ciclo de cocción para cada tipo de producto vendrá dada en función de la composición de pasta y esmalte, así como de la tecnología utilizada. Es importante, por tanto conocer la acción del calor sobre las materias primas cerámicas, a fin de diseñar un ciclo de cocción adecuado

### **2.6.3. Etapa de precalentamiento**

Abarca entre el 55 % y 60 % de la longitud total del horno y se puede diferenciar entre: Etapa inicial de calentamiento En la entrada al horno el factor que limita la velocidad de calentamiento es el peligro de explosión de piezas, motivada por una eliminación violenta del exceso de humedad residual en forma de vapor. Esta humedad procede de la absorción de la humedad del ambiente de las piezas durante su almacenamiento, el agua que se aplica en el esmaltado, y la humedad residual a la salida del secadero.

En esta primera zona se inicia el calentamiento de las piezas de forma lenta hasta alcanzar aproximadamente los 400 °C para favorecer la eliminación de dicho exceso de humedad, y en ella se realiza la extracción de los humos producidos durante la combustión.

### **2.6.4. Calentamiento**

En esta zona es donde tiene lugar el aporte energético que permite llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica y de las impurezas, la eliminación de los productos gaseosos generados durante ellas, así como la descomposición de los carbonatos (sobre todo cálcico) presente en el soporte.

Para evitar la aparición de defectos superficiales, alteraciones en el color y texturas en el interior del producto acabado, es imprescindible que todas las reacciones indicadas, se completen antes de que la permeabilidad del esmalte y del soporte sean tan bajas, que prácticamente impidan la difusión de las especies gaseosas (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, entre otros.) producidas en el interior de la pieza.

Por ello, las temperaturas a las que transcurre esta etapa son ligeramente inferiores a las de reblandecimiento del esmalte (inicio de la transformación a estado viscoso), comprendidas generalmente entre 750 °C y 900 °C.

#### **2.6.5. Etapa de cocción**

Se considera como tal el momento en el que se produce la sinterización de las piezas. El soporte, al irse calentando, comienza, de una manera progresiva, a producir fase vítrea (en el caso de composiciones de gres) o fases cristalinas estables (en composiciones de azulejos o revestimientos), y la mezcla de materias primas se va transformando en una única estructura química compleja.

En el caso de las piezas esmaltadas, los esmaltes sufren una transformación similar a la de la pasta, pero en general la cantidad de fase vítrea producida es mayor, presentando un mayor grado de vitrificación. La zona de cocción debe corresponder al intervalo de temperaturas comprendido entre el inicio de la vitrificación (formación de fase vítrea) y el inicio de la deformación de la pieza por efecto del calor.

Debe ser lo más amplio posible, debiendo estar la temperatura óptima de cocción dentro de este intervalo, no demasiado cerca del inicio de la sinterización para que el material no sea demasiado poroso, y no demasiado cerca del inicio de la deformación para que la pieza no quede deformada. El tiempo de permanencia de la pieza en esta zona debe ser lo suficientemente largo como para que toda la pieza pueda sufrir la vitrificación completa y así asegurar la estabilidad dimensional del producto. Durante la etapa de cocción (y también durante el final del calentamiento) la pieza sufre una importante

variación dimensional por dilatación térmica, que se invertirá durante el enfriamiento de la misma.

Esta dilatación térmica debe ser considerada durante la formulación de la pasta, el engobe y el esmalte, ya que la falta de acoplamiento entre ellos puede provocar importantes problemas de curvatura en el producto final. La temperatura máxima de cocción varía en función del tipo de producto, pero se puede decir que está comprendida entre 1 130 °C – 1 220 °C, y el tiempo de permanencia a dicha temperatura es de 2 o 3 minutos.

#### **2.6.6. Etapa de enfriamiento**

Abarca entre el 40 % y el 50 % restante de la longitud total del horno y se pueden diferenciar tres etapas:

- Enfriamiento forzado a alta temperatura: se realiza por convección forzada, haciendo incidir aire a temperatura ambiente en el interior del horno a poca distancia de las piezas. La elevada resistencia al choque térmico de las piezas a alta temperatura, permite que estas puedan enfriarse de forma rápida sin que se produzcan roturas, a pesar del elevado gradiente térmico que se establece en su interior.
- Enfriamiento natural: en este intervalo de temperaturas el enfriamiento de las piezas se realiza casi exclusivamente por radiación y convección natural. Durante este periodo de enfriamiento se produce la transformación alotrópica que presenta el cuarzo a 537 °C, por la cual existe un cambio de estructura cristalina de cuarzo  $\beta \rightarrow$  cuarzo  $\alpha$  con una importante disminución de volumen (0,8 %), lo que puede provocar roturas, falta de uniformidad y tensiones que minimicen la estabilidad

final de la pieza. Esta transformación, que aunque no es la única que se produce si es la más significativa, condiciona a este tramo de enfriamiento lento.

- Enfriamiento forzado a baja temperatura: superado el anterior punto crítico, el material se hace nuevamente resistente al choque térmico, por lo que el enfriamiento final se hace otra vez por convección forzada, hasta una temperatura en la que el producto pueda ser manipulado (aproximadamente 100 °C).

Esta curva de cocción puede ser aplicada en líneas generales, tanto para los casos de bicocción como de monococción, teniendo en cuenta que en monococción la aparición de defectos generados por procesos de calentamiento o enfriamientos demasiado rápidos van a ser más probables (por el efecto de la cocción del esmalte sobre el soporte crudo); por lo que deben tenerse más precauciones tanto en la etapa de calentamiento, como en la de cocción.

## **2.7. Selección y empaque**

Una vez que las piezas esmaltadas han sido cocinadas se envían a través de una línea de transporte formadas por poleas, fajas y moto variadores, hacia una máquina que selecciona y apila las piezas dependiendo de la calidad de las mismas (estándar, segunda o tercera).

Posterior a ser apiladas las piezas, se transportan mediante una cadena al final de la máquina donde se empaican en cajas de cartón y se estiban en una tarima, para luego transportarlas a la bodega de producto terminado.

### 2.7.1.1. Clasificación

La clasificación se realiza bien manualmente en una línea de clasificación bien mediante sistemas automáticos con equipos mecánicos y visión superficial de las piezas. El resultado es un producto controlado en cuanto a su regularidad dimensional, aspecto superficial y características mecánicas y químicas. Seguidamente se empaquetan en cajas, se apilan en *palets* y se trasladan a almacenes de carga.

Con esta etapa de clasificación finaliza el proceso de fabricación del producto cerámico. En el pasado, la clasificación de las baldosas cerámicas se realizaba de forma manual y visual por los operarios; de manera que a la salida de los hornos se eliminaban las piezas que se veían defectuosas y se hacían controles de calidad de manera puntual sobre piezas elegidas al azar.

Hay que recordar, también, que los colores cambian de manera notable tras la cocción. Para conocer bien los colores y saber elegir los matices apropiados a una decoración, resultará muy útil construir una paleta (gradaciones y superposiciones de tonos diversos).

Actualmente, estos controles de calidad final del producto se realizan de forma automática mediante maquinaria apropiada que es capaz de medir y controlar todos los parámetros requeridos para una total clasificación de las piezas.

El resultado es un producto controlado en cuanto a su rectangularidad dimensional, aspecto superficial y características mecánicas y químicas. Posteriormente, se procede al embalaje de las piezas: envasado, paletizado y



etiquetado, también de forma automatizada, para luego trasladarlas a los almacenes de carga.

Figura 1. **Clasificación del producto**



Fuente: DOYLE, Lawrence E. *Materiales y procesos de manufactura ingenieros*. p. 87.

En algunos casos, la clasificación y el embalaje sigue siendo una operación manual (en algunos tipos de ladrillos de arcilla, tejas, productos refractarios con formas especiales, cerámica de mesa y ornamental). Sin embargo, un control más exigente de la cocción ha reducido considerablemente la rotura de piezas en los últimos años y los sistemas están cada vez más automatizados.

Actualmente, es posible medir instrumentalmente incluso el color, lo que resulta importante en las baldosas de cerámica. Los ladrillos y los bloques de arcilla se consolidan mecánicamente en paquetes listos para la envoltura retráctil. El cliente acepta la posibilidad de un 1 % o 2 % de unidades imperfectas.

Las unidades cerámicas con formas regulares (ladrillos, tuberías y unidades refractarias) se sujetan normalmente con correas en paquetes de tamaños estándar que frecuentemente se embalan con polietileno y se paletizan.

Los productos cerámicos más delicados, como la cerámica de mesa y ornamental, exigen una inspección y clasificación rigurosas seguidas de un sofisticado embalaje protector. Por el contrario, los productos refractarios no conformados siempre se pesan en bolsas y se paletizan. También, se utilizan tambores metálicos para el almacenamiento.

Las baldosas de cerámica son frágiles individualmente pero cuando se embalan en cajas de cartón resultan ser muy resistentes durante la manipulación y el transporte. Los artículos de arcilla pesados fabricados a gran escala suelen almacenarse en el exterior, pero los productos embolsados o empaquetados en cajas deben almacenarse a cubierto en almacenes, al igual que algunos productos refractarios sensibles a la humedad.

Figura 2. **Embalaje**



Fuente: DOYLE, Lawrence E. *Materiales y procesos de manufactura ingenieros*. p. 87.

### **2.7.2. Rotulado**

Su embalaje debe llevar el siguiente rotulado:

- La marca del fabricante o la marca comercial y el país de origen.
- La marca para indicar la primera calidad.
- Tipo de piso y la referencia al anexo apropiado de esta norma.
- Dimensiones nominales y de fabricación, modular (M) o no modular.
- Naturaleza de la superficie, por ejemplo, esmaltada (GL) o no esmaltada (UGL).

### 3. RENDIMIENTO DE LOS MARTILLOS

En el presente capítulo se desarrollará el rendimiento de los martillos, por lo tanto; es sumamente relevante desarrollar que es un molino de martillo: este pertenece a la clase de molinos impactadores los cuales tienen un elemento que está rotando a gran velocidad y fuerza; generalmente, una especie de cruz en la cual el sólido es golpeado por el martillo al caer dentro del sólido sobre el eje o cruz de rotación.

Los molinos de martillo tienen el más amplio rango de reducción de tamaño, pues pueden ser inclusive quebrantadores primarios para partículas gruesas y pueden también recibir partículas finas de pocos milímetros, logra reducciones hasta partículas muy finas o intermedias. Se utilizan para sólidos no muy abrasivos y preferiblemente friables, aunque son capaces de recibir materiales duros.

“Existen varios tipos de molinos de martillo entre los que se encuentran: el de estrella, es el más típico, con un eje horizontal, y el molino de martillo de jaula, el cual rota horizontalmente pero en lugar de martillos tiene una especie de barras en corona a una o varias capas concéntricas”.<sup>1</sup>

#### 3.1. Rendimiento de un martillo nuevo

En el siguiente apartado se presentan los datos del periodo de cambio de un martillo nuevo y el costo de un martillo nuevo.

---

<sup>1</sup> MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 1056.

### **3.1.1. Período de cambio de un martillo nuevo**

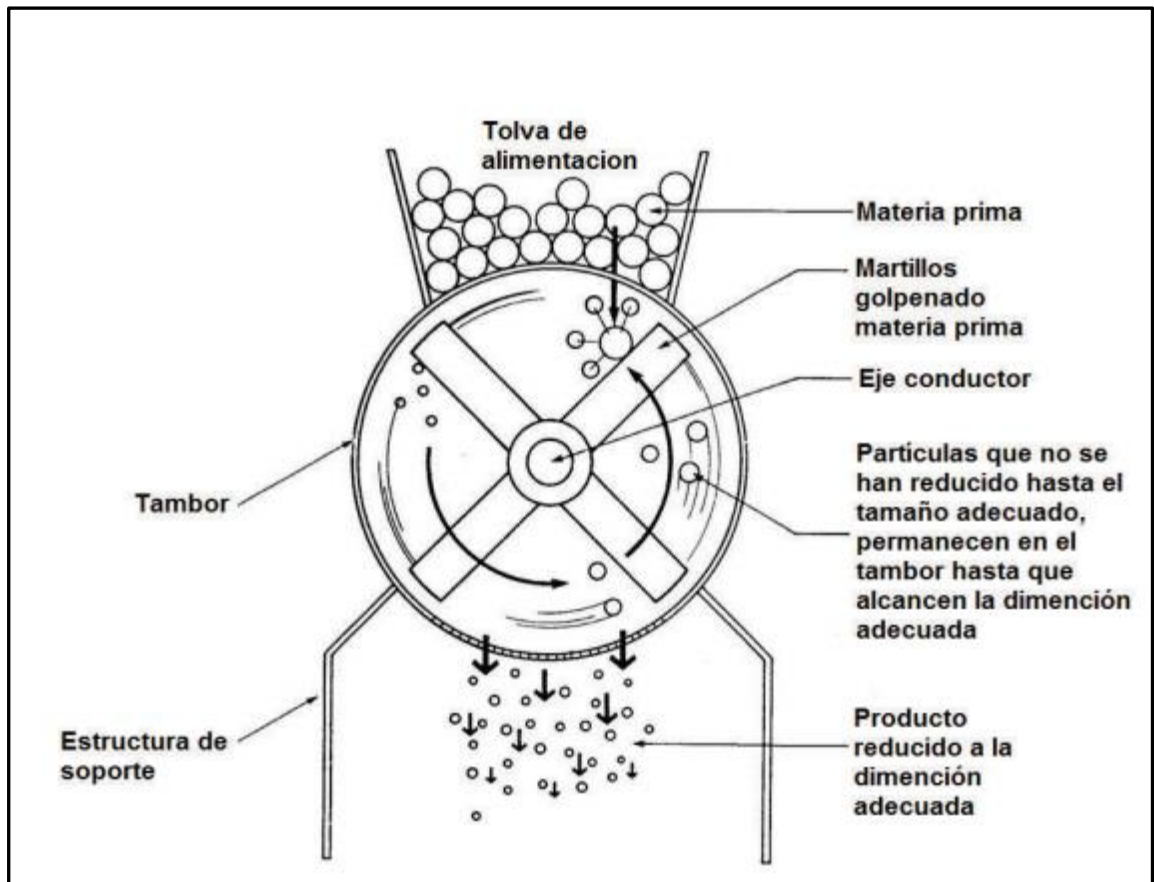
En el periodo de cambio de un martillo nuevo es sumamente relevante presentar el proceso de trituración y las partes que conforman al molino de martillos.

- Estructura del molino

El molino de martillos opera por efecto de impacto sobre el material a desintegrar. Es decir, que el molino está compuesto por una cámara de desintegración, también una boca de entrada del material en la parte superior y una boca de descarga cerrada por una rejilla. Además, en el interior de la cámara hay un eje, que gira a gran velocidad y perpendicularmente a él están montados articuladamente los martillos que actúan como elementos de percusión, que por la fuerza centrífuga que se genera al girar el eje, quedan posicionados perpendicularmente en posición de trabajo.

En el proceso el material a moler ingresa por la boca de entrada y por gravedad desciende al interior de la cámara de desintegración, donde en instantes es golpeado por los martillos. Continuamente choca contra la cámara de desintegración y de nuevo es golpeado por los martillos. Esto sucede repetidamente hasta que logra el tamaño que pueda pasar por la rejilla de la descarga. Es ineludible mencionar que el tamaño de salida de los materiales triturados varia cambiando la rejilla de salida. Tal y como puede visualizarse en la siguiente imagen:

Figura 3. Molino de martillos



Fuente: elaboración propia.

En el proceso de trituración, para disolver grumos y aglomerados, estos se utilizan cuando las sustancias están presentes en forma de nudo y son triturados a un tamaño específico. Debido a la rápida rotación de los martillos, los grumos son disueltos.

- Los martillos

Son los elementos principales del molino, porque son los que realizan el proceso de desgarramiento. De igual manera, les llaman percutores o batidores, estos varían entre fijos u oscilantes. Los martillos fijos son más efectivos que los oscilantes, pero el daño producido en el molino, cuando se introduce algún hierro con la arcilla es mayor.

La forma de los martillos, en general es una platina de 30 a 50 mm de anchura, de 100 a 120 mm de largo y 3 a 9 mm de espesor. Los martillos son fabricados en una gran diversidad de formas y tamaños, con el objetivo de lograr la máxima fuerza eficaz con un espacio mínimo, y que brinden la mayor resistencia al desgaste.

- Personal operativo

La máquina posee un eje de molienda que a la vez hace de rotor soplador que expulsa el materia a altas velocidades fuera de la misma, por tal razón se debe evitar que cualquier persona deambule cerca de la zona en la cual se apila el bagazo que sale de la máquina o en su defecto colocarla cerca de una pared para que el material choque contra ella y se apile.

Los operarios y personal de mantenimiento cuentan con un instructivo con los detalles pautas para la operación de la máquina, molino de martillo.

Tabla I. **Medidas de seguridad del molino de martillos**

1.	Antes de poner en marcha el molino de martillos, se debe sujetar en un lugar fijo atornillándolo a la base donde se desea instalar o directamente al piso.
2.	El área donde se instale el molino de martillos se debe delimitar.
3.	Antes y después de cada jornada de trabajo, se debe limpiar e inspeccionar el molino de martillos para detectar posibles fallas y desajustes.
4.	Asegurarse de que no se encuentren personas cerca de las partes móviles del molino antes de ponerlo a trabajar.
5.	Utilizar siempre elementos de seguridad como tapa bocas, tapa oídos, gafas y casco.
6.	Evitar el uso de prendas que puedan ser enganchadas por las partes móviles del molino de martillos.
7.	Asegurarse que el personal que manipula el molino de martillos, este capacitado para realizar las actividades.
8.	Antes de aproximarse a la máquina para efectuar cualquier operación de mantenimiento apague el motor del molino de martillos y esperar a que se detenga definitivamente.
9.	Utilizar refacciones originales y siempre emplear la herramienta adecuada para cualquier reparación o ajuste.
10.	No hacer modificaciones al molino de martillos, ya que pueden generarse accidentes.

Fuente: elaboración propia.



Tabla II. **Pasos para operar el molino de martillos**

1.	Revisar la tensión y el alineamiento correcto de las bandas.
2.	Revisar que no se encuentren elementos extraños dentro de la cámara de molienda ni sobre la tolva de alimentación del molino de martillos.
3.	Trabajar el molino de martillos sin carga durante unos segundos con el objetivo de estabilizarlo.
4.	Cuando el molino de martillos alcance su velocidad de operación proceder a alimentarlo.
5.	La alimentación del producto hacia la cámara de molienda debe ser constante y uniforme.
6.	El material a moler debe estar con la humedad relativa especificada.

Fuente: elaboración propia.

Una vez, desarrollada la estructura de un molino de martillos, el proceso de trituración, la descripción de los martillos. Si bien el proceso de molienda fue descrito anteriormente, opera por efecto de impacto sobre el material a desintegrar.

Los martillos en el proceso, actúan como factores de percusión y por la fuerza al girar el eje, la máquina trabaja 24 horas los siete días de la semana, generalmente, el molino de martillos tritura 30 toneladas por hora; es decir, que

el molino trabaja 14 400 toneladas de arcilla, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla III. **Rendimiento de los martillos nuevos**

Martillo nuevo	Cada 15	Tiempo de duración	Producción total
	Se cambia de lado	30 días	14 400 toneladas

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2. **Costo de un martillo nuevo**

Para presentar los costos de un martillo nuevo, es imprescindible mencionar que el departamento de finanzas es el encargado de autorizar al departamento técnico la compra de martillos a través de la solicitud de cambios de la empresa de azulejos.

Cabe resaltar que la función del departamento de finanzas se encuentra referida a cumplir eficientemente con el proceso de gestión, operación, control y evaluación de las operaciones de capital; en otras palabras, el manejo eficaz de la disponibilidad monetaria representada en efectivo y documentos bajo un lineamiento que guíe o regule todas las operaciones monetarias y que a su vez sea monitoreada; además, de evaluar el proceso para garantizar la determinación de los saldos de las cuentas de efectivo y determinar la disponibilidad de capital cuando se le presenten las solicitud de mantenimiento de la maquinaria.

Por lo tanto, el departamento de finanzas conlleva los informes financieros que representa la determinación de saldos de los ciclos de egresos e ingresos; es decir, ante la solicitud de cambio de martillos nuevos para el molino, estos presentan un comunicado a los dueños de la empresa, para describir de forma general las condiciones que generaron la situación actual y los nuevos planes de acción describiendo lo siguiente:

Tabla IV. **Costo de martillos nuevos**

Martillo nuevo	Costo por unidad	Costo de los doce martillos
	Q. 1 741,66	Q 20 900,00

Fuente: elaboración propia.

El proceso de solicitud de cambio de martillos es a través de la elaboración de la orden de cambio, donde se establecen todos los materiales e insumos necesarios para el cambio; los encargados responsables de cada etapa del proceso establecen la cantidad de materiales necesarios para el cambio y remiten esta información al jefe del departamento técnico.

Es importante detallar que la solicitud de cambio de martillos, se presenta 15 días de anticipación, porque el costo es alto, a causa de que este debe ser importado del extranjero.

### **3.2. Rendimiento de un martillo recuperado**

El molino está diseñado y construido para satisfacer las condiciones de producción de la empresa de azulejos, no obstante, los aparatos mecánicos

sufren un deterioro muy alto cuando trabajan en condiciones extremas de humedad y con productos abrasivos que no tenga un tamaño adecuado para el cual fue diseñado. En el siguiente apartado se desarrolla el proceso de identificación del cambio de martillo reparado y los costos de la recuperación de un martillo reparado.

### **3.2.1. Período de cambio de un martillo reparado**

El molino de martillos es un equipo versátil en cuanto a las variaciones de tamaño de grano que puede manejar y la granulometría que se puede obtener, los martillos como se explicó anteriormente son los encargados, junto con las cribas, de moler la materia prima que entra en la recámara de molienda, es por esto, que el desgaste en los martillos de molienda es normal por la misma forma en que esta dado su funcionamiento, pero una disminución en la vida útil de estas piezas no es algo conveniente para la empresa.

- Desgaste

Seguidamente del proceso de trituración, la velocidad de alimentación al molino se controla por medio de compuertas deslizantes o tornillos, esta pieza trabaja como dispositivo de entrega o dosificador. La capacidad de molienda que tiene el molino depende de:

- Clase de materia prima a procesar (dimensiones y dureza)
- Tamaño de grano que se quiere obtener
- Potencia disponible
- Velocidad que alcanzan los martillos
- Humedad del producto

El proceso de molienda que se lleva a cabo gracias al impacto del producto con los martillos, el corte con los filos del martillo y el rozamiento o fricción presente entre el producto, criba y martillos; a través de estas tres maneras en que se lleva a cabo la reducción del tamaño del producto.

Consecuentemente al estar los martillos sometidos a un contacto superficial con la materia prima que se desea moler, existe un desgaste en estos componentes al igual que en la criba, por lo cual es importante conocer que es el desgaste, y que tipos de desgaste se dan.

El desgaste es un efecto en la superficie de las piezas a causa de su interacción con otro cuerpo o con el medio donde opera, trayendo como consecuencia variación en su forma o geometría, en su estructura, y en sus propiedades mecánicas y físicas así halla o no remoción de material.

- Tipos de desgaste
  - Desgaste adhesivo
  - Desgaste abrasivo
  - Desgaste por fatiga
  - Corrosión
  - *Fretting*
  - Erosión
  - Cavitación

Es bueno aclarar que se presentan dos o más tipos de desgaste al tiempo y en caso especial uno se convierte en otro, por lo tanto existen tres elementos que inciden en el tipo de desgaste que se tiene y la magnitud del efecto que alcanza la pieza.

- Condiciones de operación
- Características de los cuerpos en contacto
- Características del medio

Una vez determinado el desgaste, este se convierte en una falla si y solo si, afecta el desempeño de la pieza en la operación, el análisis de desgaste se relaciona con el análisis de falla, siendo inclusive varias de sus etapas de desarrollo iguales, a través de los siguientes pasos:

- Inspección visual

La falla más relevante del sistema, es la presente en los martillos ya que el desgaste sufrido es muy severo, debido al permanente contacto (metal – abrasivo) lo que hace que los martillos se acorten por el desgaste y de esta manera disminuyen su tamaño.

Lo primero que salta a la vista es el cambio de forma de la pieza a causa del desgaste (remoción de material); y si se detalla la zona del desgaste, se puede apreciar que se genera una concavidad en todas las puntas, es decir que no es uniforme el desgaste en cada filo de corte. Una vez es limpiada la pieza no se ven rastros de corrosión en alguna parte de la superficie, por lo cual se descarta el desgaste corrosivo.

- Condiciones de proceso de producción

Las condiciones de operación en el molino de martillos están determinadas básicamente por cuatro factores que influyen en el sistema lo cual es la carga, el sentido de giro, tamaño de la materia prima y la apertura de la criba. Estos factores tienen en gran medida la responsabilidad del óptimo

funcionamiento del equipo, y son factores determinantes en la falla presente en los martillos del molino.

- Excesiva

Este factor es determinante ya que el molino actualmente tiene una capacidad que está siendo excedida, debido a que la trituradora de mandíbulas cuenta con una capacidad de producción de 12 toneladas por hora mientras que el molino de martillos posee una capacidad de producción de aproximadamente 7 toneladas hora lo cual conlleva a que se genere atascamiento debido a la sobrecarga dentro de la cámara. Además, del suministro proveniente de la trituradora de mandíbulas, está el hecho de que el molino soporta la carga proveniente del rechazo del tamiz, que es el material que no alcanza a ser clasificado y tiene que volver a ser remolido. Estos dos factores propician que la capacidad máxima de trituración del molino este siendo excedida y este causando un incremento mayor en el desgaste de los martillos del molino.

- Sentido de giro

El sentido de giro de los martillos en el sistema está determinado básicamente por el movimiento del motor, este movimiento está en el mismo sentido de alimentación. No se ha experimentado invirtiendo el sentido de giro para recibir directamente el material impactándolo sin dejar que llene la cámara.

- Tamaño de la materia prima

La alimentación que tiene el molino de martillos es heterogénea debido a que están llegando diferentes tamaños, pero en el caso más crítico el tamaño de grano que recibe es de 7 cm.

- Apertura de la criba

Otro de los factores determinantes en las condiciones de operación del molino de martillos y que influye notablemente en el desgaste de los martillos es la apertura de la criba ya que esta es la que permite la salida del material molido de la cámara, de esta manera entre más cerrada la criba más tardará el material en ser evacuado de la cámara y viceversa.

Es importante mencionar que la criba es muy importante para la producción de la planta, debido a que dependiendo del requerimiento de la producción de esta manera se dispone la apertura.

Si se necesitan más finos se cierra la criba para permitir que el material sea remolido y disminuya el rechazo, esto conlleva a que la alimentación se tenga que hacer más pausada retrasando de esta manera la producción, esto también trae como consecuencia que la permanencia de contacto metal – abrasivo sea más prolongado haciendo que el desgaste se intensifique.

- Medición del desgaste

Se toman los 12 martillos desgastados, y se realiza la medición de ciertas dimensiones que se vieron afectadas por el desgaste. Esto con el objetivo de poder manejar un promedio de hasta qué punto se ve afectada la pieza por el desgaste.



El desgaste se evalúa por la variación del peso del martillo, la cual se tiene según medición realizada en planta, que un martillo pesa 380 gramos, con una variación de más o menos 2 gramos. Los martillos desgastados tienen un peso promedio de 332,4 gramos, con una variación de más o menos 5 gramos. Con esto se tiene una remoción de material que corresponde al 12,5 % del peso total de la pieza.

- Comprobación del mantenimiento

Imprescindible el plan de mantenimiento para el molino, considerando como mantenimiento preventivo el análisis de vibraciones y el cambio de mangas del filtro de aspiración, y el remplazo de los martillos y la criba como un mantenimiento correctivo programado, ya que, depende del personal operativo dar aviso cuando hay cambios inusuales en el tiempo del lote de producción, subidas inusuales del amperaje del motor, o en las labores de limpieza observan ya el desgaste de las piezas.

El mantenimiento se realiza con el objetivo, de la mayor longevidad a los martillos, se efectúa diariamente la revisión, el cambio en el sentido de giro, utilizando de esta forma los dos lados, se cambian cada 21 días de lado. Como se muestra en la siguiente imagen.

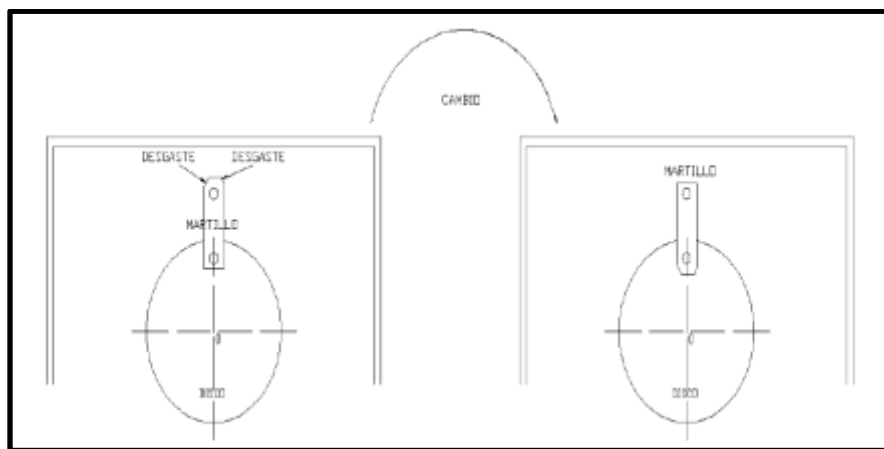
Para realizar el cambio de martillos el operador debe llevar a cabo los siguientes pasos:

- Aflojar los pernos de la tapa y retirarlos, levantar la tapa para dejar al descubierto el rotor.
- Quite la chaveta de un eje y retire el eje con sus respectivos martillos y

separadores.

- Girar o reemplazar los martillos, según sea el caso, se recomienda hacerlo eje por eje, recuerde mantener la posición con respecto al eje.

Figura 4. **Cambio de lado del martillo desgastado**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

La longitud del martillo debe cumplir las condiciones geométricas para el correcto funcionamiento, es decir, deberá guardar relación geométrica con respecto al disco que lo portará. Es importante mencionar que lo que ocasiona el desgaste, como se mencionó anteriormente, es precisamente el impacto repetitivo en los filos de corte, llevando a un proceso de fatiga de bajos ciclos. Primero, existe una etapa de microsurchado que después se convierte en microcorte.

El desgaste uniforme del martillo reduce la vibración del molino y garantiza un producto final de tamaño uniforme con la máxima capacidad productiva del equipo.

Tabla V. **Rendimiento de los martillos recuperados**

Martillo nuevo	<b>Cada 21</b>	<b>Tiempo de duración</b>	<b>Producción total</b>
	Se cambia de lado	45 días	21 600 toneladas

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestran los días de duración y el rendimiento de los martillos nuevos y de los martillos reparados.

Tabla VI. **Comparación martillos nuevos y reparados**

<b>Características</b>	<b>Duración actual por día</b>	<b>Rendimiento por toneladas</b>
Martillos nuevos	30 días	14 400
Martillos reparados	44 días	21 600

Fuente: elaboración propia.

### **3.2.2. Costo de la recuperación de un martillo**

En este apartado se realiza el análisis económico general de los costos de la recuperación de martillos. El costo económico por mantenimiento se incrementa notablemente, debido a que cada martillo requiere debe ser recuperado cada 44 días, esto equivale a Q. 1 416,00 por unidad, y el juego de 12 martillos es de Q. 17 000,00 que se invierte en cada martillo por cada

24 horas de trabajo siete días a la semana; lo que conlleva que cada mes y medio se tenga que hacer reparaciones de los doce martillos.

Tabla VII. **Costos de martillo recuperado**

Martillo reparado	Costo por unidad	Costo de los doce martillos	Tiempo de duración	Producción total
	Q. 1 416,00	Q. 17 000,00	44 días	21 600 toneladas

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se pueden apreciar las diferencias entre el costo, duración y rendimiento de los martillos nuevos y los martillos regenerados por un taller.

Tabla VIII. **Diferencias entre martillos nuevos y regenerados por un taller**

Características	Costo por unidad	Costo de los doce martillos	Tiempo de duración	Producción total
Martillo nuevo	Q. 1 741,66	Q. 20 900,00	30 días	14 400 Toneladas de arcilla
Martillo recuperado	Q. 1 416,00	Q. 17 000,00	44 días	21 600 Toneladas de arcilla

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Efectos del bajo rendimiento de un martillo de molienda

En el presente apartado se muestran los inconvenientes causados por el poco rendimiento de los martillos desgastados, la baja de producción, además

de provocar el incremento de paros; también, se muestran los altos costos de mantenimiento de los martillos de molienda.

### **3.3.1. Baja de producción**

Entre los inconvenientes de no cambiar los martillos a tiempo, es que la arcilla no se tritura bien y el proceso debe repetirse para lograr pulverizar bien la arcilla las máquinas trabajan 24/7 el molino de martillos trabaja 24 horas al día.

### **3.3.2. Incremento de paros por mantenimiento**

Uno de los factores importante que afecta la producción son los tiempos muertos debido a que no se puede estar alimentando constantemente la trituradora ya que el molino de martillos no soporta toda la carga proveniente de la trituradora, lo que ocasione que se tenga que parar la alimentación aproximadamente cada 5 min, por un rango de aproximadamente 2 min, hasta que el molino de martillos descargue.

Si se alimenta ininterrumpidamente la trituradora de mandíbulas ocasiona que se genera un atascamiento en el molino de martillos. Si se multiplican los tiempos muertos, que son aproximados a dos minutos por cada 5 min de trabajo, se están perdiendo aproximadamente 24 min por cada hora de trabajo, que son 3 horas y 20 min en un turno de ocho horas.

Las actividades de mantenimiento generalmente consisten en inspecciones generales que involucran la observación de producción, limpiezas del equipo, cambios de piezas que cumplan su vida útil, lubricaciones periódicas y trabajos pequeños que garanticen el buen funcionamiento de la maquinaria.

En la ausencia del mantenimiento, las máquinas representan fallas, para dar vuelta o cambiar el martillo se tardan aproximadamente 8 horas ya que se tienen que cambiar rejillas y algunas veces corazas.

### **3.3.3. Altos costos de mantenimiento**

En los costos de mantenimiento de los martillos, se incluyen los siguientes factores:

- Reparación de los martillos Q17 000,00.
- Mano de obra, para el mantenimiento de los péndulos Q 1 000,00.
- Mano de obra, para el montaje de los péndulos, con los martillos regenerados Q 500,00.
- Repuestos y materiales varios utilizados para el montaje, tales como lubricantes, empaquetaduras, desengrasantes, entre otros. Q 2 600,00.
- Energía eléctrica por el uso de máquina de soldar, pulidoras, barrenos, entre otros Q 150,00.

De igual forma, debido a la poca duración de los martillos, los costos de mantenimiento son elevados, porque el proceso de mantenimiento es con más frecuencia.



## **4. PROPUESTA PARA LA RECUPERACIÓN DE MARTILLOS DE MOLIENDA**

El presente capítulo es la propuesta de recuperación de martillos de molienda; el desgaste de los martillos puede darse por la antigüedad del molino o por el tiempo y cantidad de arcilla que este tritura; muchas veces este desgaste repercute en el costo del mantenimiento. El desgaste de los martillos es una de las principales causas que se deben minimizar con un buen mantenimiento preventivo para evitar su deterioro repentino. En el siguiente apartado se presenta el mantenimiento y la recuperación de martillos, seguido de la planificación de este y la evaluación para la recuperación de los martillos de molienda a través de la soldadura.

### **4.1. Mantenimiento y recuperación de martillos**

En el mantenimiento y recuperación de martillos del molino de molienda, es sumamente importante mencionar que recuperación y mantenimiento son operaciones diferentes y separadas; no obstante, tienen características y fines en común. Estos dos procesos requieren ser elaborados por técnicos que estén preparados en conocimiento y práctica del proceso de soldadura y recuperación de los martillos; es decir, que sepan distinguir e identificar cuando y como trabajar dichos repuestos.

El mantenimiento por lo general es efectuado bajo una guía brindada por el supervisor del área de mantenimiento, y hay establecido un horario para dicha actividad, por lo regular es cuando las máquinas están apagadas y en paros programados para llevarlo a cabo.



Es sumamente relevante mencionar que el mantenimiento preventivo adecuado, requiere de la correcta constancia y destreza de mantener el equipo en servicio, sin realizar paros mayores sin programar, o reacondicionar la maquinaria en tiempos específicos; por otra parte, el proceso de mantenimiento o trabajo correctivo, conlleva la recuperación de partes de una máquina que estén, averiadas, desgastadas, estropeadas; en otras palabras, que ya no puedan ser utilizadas hasta repararlas.

Es preciso, que los equipos a trabajar se desmonten, para soldar cada pieza estropeada o desgastada, no obstante, las piezas defectuosas pueden quitarse del equipo para repararlas subsecuentemente; si las piezas de reemplazo no estuvieran precisamente listas o si la reparación es imprescindible y debe pararse la producción por este proceso.

En la recuperación o mantenimiento a través de la soldadura, según las reglas de la empresa es necesario regresar la maquinaria reparada al departamento de producción de forma precisa para evitar tiempos muertos. Es preciso recordar, también, que se requieren tiempos de reparación extensos cuando las piezas a reparar o cuando la soldadura requirente en la pieza es grande, debe considerarse el tratamiento térmico del mecanizado de los martillos.

Generalmente, en los equipos obsoletos o antiguos, se requiere un tiempo de ingeniería cuando las recuperaciones son complejas y en ocasiones costosas, cuando esto sucede lo que procede es el reemplazo de las piezas. En algunas situaciones donde las recuperaciones del equipo viejo es complejo, es considerado fabricar una nueva pieza con los detalles originales, inclusive cuando el fabricante de inicio de la máquina, suele dejar de producir las partes de recambio es necesario contar con otra de repuesto que esté disponible en bodega.

## **4.2. Planificación para recuperación de martillos**

Habitualmente, la planificación para llevar a cabo el mantenimiento preventivo se realiza a través, de un análisis detallado del proceso de soldadura. Se establece un plan de mantenimiento preventivo para asegurar el correcto funcionamiento de todos los componentes y accesorios que conforman el molino, y así prolongar la vida útil y anticipar fallas catastróficas que generan la disminución en la producción y aumentos en costos de operación.

Para crear un adecuado plan de trabajo, es imprescindible llevar a cabo una planificación de todos y cada uno de los factores a mejorar, también de las metodologías a implementar para que cualquier proyecto contemplado tenga éxito. Además, el mantenimiento por sí solo es complejo de manejar si no se tiene un objetivo claro de lo que se quiere lograr dentro del departamento de la empresa, por lo que el departamento de mantenimiento debe estar relacionado con otras áreas; es decir, debe existir una excelente comunicación entre otros departamentos como lo es gerencia, producción y contabilidad.

Con el objetivo de identificar la reparación de las piezas, el plan de mantenimiento preventivo, es imprescindible establecer tres pilares esenciales: revisión visual de la pieza, desmontar cada martillo para identificar cuales muestran deformidad de desgaste y, por último, realizar el informe de solicitud de reparación de los martillos.

Además de lo antes mencionado, dentro del proceso de mantenimiento es imprescindible considerar los siguientes puntos:

- Analizar las diferentes actividades en el área de producción, no hay que dar cosas por sentadas, los datos son hechos, y las intuiciones rara vez son un acierto.

- Realizar un listado correcto de los materiales que vayan a ser necesarios, perfectamente separados unos de otros y con las cantidades exactas.
- Señalar las características de la necesidad de reparación.
- Establecer el grado de desgaste: para determinar en qué medida es necesaria la reparación y por tanto debe estar contemplado delante de otro, hay que considerar que son imprescindibles para la ejecución del proceso.

#### **4.3. Evaluación para recuperación de martillos por medio de soldadura**

En este apartado, se presenta la evaluación para recuperación de martillos por medio de soldadura, en el cual se procederá a identificar la necesidad de reparación; además, determinar la naturaleza del mecanismo de desgaste; identificar la soldabilidad del material base; seguidamente, se muestra la fase para determinar el proceso de soldadura; determinar de igual manera el mejor material de aporte; y, por último, se determinará la distorsión del martillo y los estándares de soldadura.

##### **4.3.1. Identificar la necesidad de reparación**

A través del mantenimiento preventivo, se logra identificar la necesidad de reparación, no obstante, para una reparación exitosa el primer paso a seguir, es reunir la información precisa. Por lo tanto, es imprescindible saber el tamaño exacto y el tipo de desgaste que presenta la pieza, el lugar donde deben ser reparadas y si la empresa cuenta con el personal para llevar a cabo la reparación.

La información de la máquina a reparar, así como el modelo, número de serie, nombre de las partes y número de identificación es imprescindible; de igual manera, es recomendable llevar un control de fotografías y bocetos, ya que estos son valiosos para llevar a cabo una excelente reparación sin errores. Además, se deben analizar las piezas a reparar y considerar lo siguiente:

- Estudiar la parte desgastada de la pieza para determinar de manera cuidadosa como alcanzar su reparación.
- El personal técnico a realizar el proceso de reparación deben ser experimentados, por lo tanto pueden contribuir con valiosa información para alcanzar una reparación exitosa, ya que la experiencia les permite prever situaciones complejas que con un plan no se pueden visualizar.

Es importante, resaltar que un defecto en el equipo que solicita reparación a través de soldadura, puede ser también por defecto de fabricación o falla cuando se encuentra en producción. Por lo que el origen de estas clases de defectos influye y atrasa el proceso de reparación.

Las fallas provenientes de la fabricación, suelen suceder en la unión de piezas a través de la soldadura, que provoca porosidad, socavación o inclusiones, una incompleta penetración, carencia de fusión, además de tensiones en la solidificación. No obstante, la reparación por medio de la soldadura se realiza con material de aporte original.

El proceso de reparación podría ser sencillo o simplemente se necesita rectificar el defecto, para seguidamente colocar el material a utilizar. Es relevante mencionar que la reparación de defectos profundos, como lo es el desgaste puede traer la excavación extensa y posiblemente sea necesario

soldar de nuevo; no obstante, si se presenta alguna deformidad, las condiciones de este pueden registrarse y reportarse para evitar estos defectos en la próxima reparación.

La falla más notable del molino, es la de los martillos porque el desgaste sufrido es severo, a causa del permanente contacto metal con abrasivo; esto, como se mencionó anteriormente, provoca que los martillos se acorten por el desgaste y de esta forma disminuye su tamaño que ocasiona que el área de contacto entre el material a fraccionar que es la arcilla y la pieza que es el martillo se amplíe que provoca una sobrecarga, que ocasiona atascamiento de la máquina.

Es importante mencionar, que los martillos laterales sufren un desgaste más elevado que los que se posicionan al centro, a causa del mayor rozamiento entre las áreas laterales del martillo y las placas antidesgaste del bastidor, también por el atascamiento que presenta la roca en estas cavidades. En el proceso de identificar el tipo de desgaste de los martillos se toma en consideración el material, la forma de operar, el tiempo que estos trabajan, el diseño y la forma en que están montados.

Figura 5. **Martillo desgastado**



Fuente: elaboración propia.

La imagen anterior presenta un martillo de molienda, con desgaste tipo abrasión o impacto excesivo, este desgaste afecta notablemente la producción de la empresa. Se identificó el desgaste de este por la variación del peso del martillo que es de 38 39,2 libras. Cuando generalmente el martillos debería pesar de 53 a 55 libras.

#### **4.3.2. Determinar la naturaleza del mecanismo de desgaste**

Para determinar el origen del mecanismo de desgaste, es preciso revisar el historial completo de las piezas o equipos averiados por el fallo en la producción. El punto inicial es identificar, dónde, cuándo y cómo ocurrió el fallo de los martillos. Por lo que es imprescindible preparar los informes de registro, con dimensiones y fotografías del defecto o falla para el registro correcto.

Las inspecciones son de utilidad para identificar el origen del desgaste de los martillos, es importante que una vez recibido el reporte de la falla se procede a:

- Realizar inspección visual y registro fotográfico.
- Selección de zonas para ensayos metalográficos y de composición química.
- Análisis de las imágenes y el contenido de inclusiones de la muestra de la medición de comparación de peso de los martillos.

#### **4.3.3. Determinar la soldabilidad del material base**

Por lo general, la mayoría de materiales pueden soldarse, no obstante, según las características de cada material, el procedimiento puede ser sencillo o complejo, por lo mismo es imprescindible estudiar el análisis químico, la dureza, el desgaste de estos para poder realizar un procedimiento de recuperación de soldadura con éxito.

La información a estudiar, es la que brinda el equipo de mantenimiento, en él informa cuando solicitan la recuperación de los martillos, además es necesario revisar el manual de fabricante para identificar su forma de origen y la composición química.

- Es preciso mencionar que en ocasiones el color de los materiales puede ser de ayuda para identificarlos:

- El latón alto en zinc es amarillo, el cobre es color rojizo castaño, el latón bajo en zinc es más rojizo, además estos son más duros que el cobre.
- El color del hierro, aluminio, zinc, magnesio, aleaciones y estaño son plateado.
- El hierro colado gris es oscuro en la superficie de la fractura.
- La viruta de acero manganeso es azul y no es magnética.
- La viruta del acero con alto contenido de carbono tiene orillas con color ligero que el acero con menor contenido y son más duros a la hora de cortar.

Cuando los riesgos son mínimos y los métodos de identificación del material base no son logrados, se procede entonces a realizar un diagnóstico del equipo seleccionando los componentes y las partes. Las categorías generalmente pueden ser la estructura de este como: las vigas, platinas y barras fundidas; estos componentes suelen dividirse en seis categorías:

- Acero con contenido de carbón medio
- Acero blando
- Acero de alto contenido de carbono
- Acero para uso resistente a la corrosión
- Acero de aleación baja
- Acero resistente al calor



Una vez clasificados los elementos estructurales de la máquina, es imprescindible calibrar la dureza del material, a través de un calibrador de dureza. Por lo tanto, el material más duro, requieren de mayor fuerza de penetración, los materiales más duros necesitan procedimientos de soldadura un poco más sofisticados y de precalentamiento de los materiales.

Es importante aclarar que no debe realizarse ningún levantamiento de soldadura, mientras no se tenga el conocimiento del tipo de material o análisis químico; si no se realiza el procedimiento adecuado, la soldadura puede arrancarse y como consecuencia producir una falla catastrófica.

#### **4.3.4. Determinar el proceso de soldadura**

Para determinar el proceso de recuperación a través de la soldadura, se consideran distintos aspectos, como la magnitud de la reparación a realizar, la reparación a través de la soldadura puede efectuarse en el taller de la empresa o el lugar donde esté ubicado el equipo. Tomando en cuenta se pueden llevar equipo de soldadura portátil y auxiliar, en la mayoría de procesos puede realizarse en el taller. También, debe tomarse en cuenta a la hora de determinar donde realizar el proceso, la disponibilidad y compatibilidad práctica del equipo para la realización de recuperación.

Un factor más para procesar la selección para el taller contra los sitios del campo esta, el precalentamiento antes de la soldadura y los tratamientos térmicos posteriores a la soldadura, garantizando el costo y las consideraciones de seguridad imprescindible como lo es la ventilación, los sistemas de descarga de humos, la gestión de materiales tóxicos, los tanques combustibles, el manejo de gases cilindros, tanques de combustible, los cables eléctricos y las líneas de aceite. Además, antes de llevar a cabo la recuperación a través de la soldadura la revisión del equipo es obligatoria.

#### **4.3.5. Determinar el mejor material de aporte**

En la reparación de martillos a través de la soldadura, primero se debe identificar la composición química y las propiedades mecánicas del electrodo; seguido de la planificación de un correcto mantenimiento y los procesos de reparación. Cabe agregar que la causa de una fractura en un elemento del equipo, podría ser la influencia del tipo de electrodo elegido para el proceso de reparación.

Una regla importante a tomar en cuenta, es usar un electrodo con la misma resistencia a la tensión y corrosión, al igual que el material a trabajar a la hora de soldar. Generalmente, las fracturas suceden en partes sometidas a esfuerzos elevados de tensión y que se encuentran rígidos, por su configuración y función. Consecuentemente, el metal de la soldadura es dúctil para nivelar el encogimiento del metal de la soldadura, que aumenta el área de la selección donde se produce la falla, disminuye la tensión por la unidad de área.

Con base en lo anterior, se menciona que el mantenimiento y recuperación de materiales de hierro fundido necesita de materiales de relleno especiales; es decir, el proceso de soldadura con electrodo revestido es el que por lo general se utiliza para reparar los materiales en hierro fundido; por lo tanto, una variedad de electrodos es la recomendable para ser usada en condiciones específicas.

Existen electrodos formulados para la fundición gris, hierro colado maleable. Es relevante mencionar que algunos electrodos son imprescindibles para el uso con hierro fundido que necesitan ser mecanizado antes de utilizarlos; otros electrodos son usados en hierro colado con secciones delgadas

y algunos otros electrodos producen porosidades en la soldadura en tanto que otros poseen agentes de limpieza especiales que están agregados a la capa del electrodo.

#### **4.3.6. Determinar la distorsión del martillo**

La determinación de distorsión del martillo, puede calcularse en la fase de planificación o con la puesta en marcha de la reparación. La notable distorsión debe ser analizada y debe solucionarse para poder continuar con el proceso de reparación. Por lo tanto, deben estudiarse las medidas preventivas e implementarse en el proceso de soldadura.

Cabe mencionar de formas breve, la teoría de la energía de la máxima distorsión sostiene que cualquier material esforzado en forma elástica sufre un ligero, cambio de forma, volumen o ambos. Por lo tanto, la energía necesaria para producir este cambio se almacena en el material en forma de energía elástica. Se sabe que los materiales usados en ingeniería pueden soportar enormes presiones hidrostáticas sin daño. Por lo que, se postuló que un material dada tiene la capacidad limitada y precisa para absorber energía de distorsión; en otras palabras, energía que tiende a cambiar la forma, pero no el tamaño, y que los intentos de someter el material a cantidades mayores de energía de distorsión pueden provocar disconformidad.

Por lo que la distorsión es una desviación temporal o permanente de cualquier forma. Las causantes de la distorsión en la soldadura, es provocada por las tensiones que se desarrollan en los materiales expansiones térmicas y contracciones. Entre las clases de distorsión pueden referirse las siguientes:

- Distorsión longitudinal
- Distorsión angular

La distorsión longitudinal de piezas largas, es producida por la tensión del encogimiento que es desarrollada cerca del centro de la pieza. Al soldar cordones de diferentes tamaños, deben hacerse a distancias desiguales del eje neutro; además, la tensión contraria debe ser equilibrada colocando las soldaduras, los cordones más pequeños lejos del eje neutro y los cordones más grandes cerca del eje neutro. Así mismo, recordar que arquear o doblar la pieza es un factor práctico para compensar la distorsión. También, la técnica de paso atrás reside en ir aplicando un cordón adelante, luego otro atrás y seguidamente uno adelante y así continuamente esto ayudará de forma notable a disminuir la distorsión.

En referencia a la distorsión angular, esta es el cambio en la posición relativa de la estructura que se extiende de una parte de soldadura a otra. Se han establecido algunas medidas para minimizar este tipo de distorsión:

- Evitar un perfil de soldadura con una raíz profunda y un cordón ancho.
- Equilibrar la cantidad de metal de la soldadura en el centro de la unión.
- Utilizando la cantidad mínima de metal de aporte exigido para alcanzar fuerza en la unión requerida.
- Fijar las piezas en un ángulo contrario para evitar que se produzca la distorsión.
- Depositar el metal de aporte con el menor número de capas posible.

#### **4.3.7. Determinar estándares de soldadura**

Regularmente, el proceso de recuperación a través de la soldadura, es de acuerdo a las normas aplicables; por lo tanto, deben ser identificadas y trabajar conforme estas y un plan de reparación. Usando las normas de soldadura fijadas para garantizar que las piezas a soldar, sean fiables y seguras, además que el personal que lleva a cabo la soldadura este además cumpliendo con las normas de seguridad, para evitar accidentes y riesgos contra la seguridad y salud.

Las normas establecidas, se conforman de códigos, prácticas recomendadas, especificaciones, guías, métodos y clasificaciones. Además, en estas se describen los requisitos técnicos para el proceso en relación al material, sistema, servicio o producto. De igual manera, especifican las pruebas para establecer los requisitos que se reúnen antes del proceso.

Es imprescindible aclarar que cumplir con las normas establecidas es obligatorio cuando se especifican por una jurisdicción gubernamental o también cuando están referidos por documentación de contrato. La mayoría de las normas incluyen secciones no obligatorias, también apéndices que pueden ser utilizados como referencias o guía, incluyen también, prácticas que recomiendan los usuarios según su criterio en base a experiencia.

#### **4.4. Establecer el procedimiento de recuperación**

Para llevar a cabo el procedimiento de recuperación de los martillos primeros es sumamente necesaria la preparación y calificación del soldador, la técnica y el trabajo de entrenamiento específico del soldador, es esencial para una reparación de éxito a través de la soldadura; para el técnico es de materia obligatoria, seguir las instrucciones del manual, seguir los códigos establecidos,

las especificaciones y otras normas establecidas para este proceso; también ,es importante aclarar que los supervisores del área de taller son los encargados de corroborar que el técnico cumpla con las normas de calidad y seguridad personal.

Seguidamente, se procederá a la preparación del área afectada, esta debe estar limpia en la parte de la fractura o la parte estropeada, debe eliminarse la grasa, humedad, pintura, oxido, suciedad, residuos de material o cualquier otra característica que perjudique el éxito de soldadura. En este mismo orden, se aclara que el hidrógeno afecta adversamente las propiedades de depósitos de soldaduras, en el momento en que el metal de soldadura se funde, se enfría y se solidifica, es rechazado el hidrógeno de la solución y es atrapado en el metal de la soldadura.

El hidrógeno escapa de manera gradual en el periodo de la dosificación; también, se crean presiones altas en los límites de los granos de la soldadura o en cualquier discontinuidad; las presiones que se dan pueden crear grietas en el metal de la soldadura y con el potencial producirse más grandes estas grietas.

#### **4.4.1. Definir el equipo necesario de soldadura**

Es imprescindible que, en el procedimiento de reparación, la sujeción de las partes para soldar; estas deben afianzarse las que se repararán con el uso de prensas o dispositivos fabricados según la naturaleza física de cada una, ya que su función es facilitar la alineación y el ensamble.

#### **4.4.2. Consideraciones térmicas**

Una vez finalizado el proceso de soldadura el tratamiento térmico actúa como un proceso de revenido para la reducción de la dureza en la zona afectada por el calor y el metal soldado; es decir, el revenido es un tratamiento térmico a través del cual se calienta el material a una temperatura inferior a la temperatura crítica.

Por lo tanto, es imprescindible precalentar para evitar agrietamientos para obtener las propiedades mecánicas deseadas, también el precalentamiento es deseable al soldar secciones pesadas de acero bajo en carbón o de acero suave, con el objetivo de asegurar una buena fusión. Por lo que el calentamiento después de la soldadura se efectúa para aliviar las tensiones.

Por otro lado, el precalentamiento conlleva la subida de la temperatura del metal base sobre la temperatura ambiente mucho antes de iniciar con el proceso de soldadura. El precalentamiento en horno es el método más efectivo y satisfactorio, es aún más natural que mezclado con aire comprimido. El método en mención produce una llama caliente y limpia, por lo que la pieza completa puede ser precalentada, y si estas son grandes o en la realización de la soldadura es limitada por espacios pequeños; entonces, el área local de la unión puede calentarse con la temperatura que se desea.

El precalentamiento puede ser aplicado antes de la soldadura, para evitar fisuras o fracturas, disminuir la dureza en la zona afectada por el calor, también disminuir la tensión residual y disminuir la distorsión. Es importante mencionar que la temperatura de precalentamiento depende del materia base, la rigidez de los miembros que se unirán. Por lo que el precalentamiento después del proceso de soldadura se utiliza para controlar la velocidad de enfriamiento del material base; actualmente, se han establecido algunos tratamientos térmicos

para alcanzar las propiedades requeridas de los materiales que serán aplicados seguidamente de la soldadura. A continuación se enlistan:

- Templado: térmico genérico que denota un tratamiento, que reside en el calentamiento a temperatura estable que es la adecuada en un horno para seguidamente enfriar lentamente a una velocidad conveniente, este proceso se utiliza por lo general para ablandar los materiales metálicos, además simultáneamente son producidos cambios esperados en la microestructura del metal.
- Normalizado: calentando una aleación férrea a una temperatura adecuada en el rango de la transformación y enfriando de manera sustancial a una temperatura bajo el rango de su transformación, es importante mencionar que los materiales son normalizados y templados.
- Endurecido: este proceso consiste en elevar la dureza de un material a través de un tratamiento que conviene, por lo general involucra el calentamiento y enfriamiento. En algunas situaciones para restaura las partes, conlleva tratamientos laser, tratamientos térmicos a través de la inducción o también tratamientos térmicos usando carburos.
- Templado y enfriado: el enfriamiento rápido con temperatura de formación del material austenítico, después del recalentamiento del material endurecido con temperatura escasa con el fin de aumentar la dureza.
- Normalizado y templado, este proceso consiste en el recalentamiento de un metal normalizado con el fin de aumentar la dureza.
- Proceso austenítico templado: es un proceso de calor para aleaciones



férreas que consiste en enfriar una parte del material austenítico rápida para evitar la formación de ferrita y sencillamente se mantiene a una temperatura por encima de la temperatura de transformación del material martensítico.

- Proceso martensítico templado: este procedimiento consiste en el endurecimiento de un material austenítico férreo, este se enfría en un medio aprobado a una temperatura que completa el material austenítico, para seguidamente transformarse en un material martensítico, por lo que la temperatura a lo largo del proceso es uniforme, y después se enfría a una temperatura ambiente, este proceso por lo general se realiza a través de la fundición de una aleación.
- Recocido: este proceso compete el calentamiento de una aleación a una temperatura adecuada, conservando esa temperatura hasta que uno o más de los elementos entre a una solución sólida, por lo que se enfría con rapidez para conservar a estos elementos en la solución, se usa además este proceso para endurecer los materiales tal y como las aleaciones de acero inoxidable, y algunas de estas aluminio y cobre.

Figura 6. **Consideraciones térmicas del martillo reparado**



Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se observa el proceso de las consideraciones térmicas del martillo recuperado, se introduce en el agua para evitar que aumente su temperatura y que no pierda sus características mecánicas; es importante mencionar que la temperatura no puede sobrepasar los 250 C.

Figura 7. **Precaentado de martillo reparado**



Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se visualiza, el tratamiento térmico del proceso de soldadura en la recuperación de martillo; este actúa como un proceso de revenido para la reducción de la dureza en la zona afectada por el metal soldado y el calor.

Figura 8. **Calentamiento de martillo reparado después de la soldadura**



Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se observa el calentamiento del martillo, después de soldado, esto se efectúa para aliviar las tensiones. Entra agua fresca y, por otro lado, saca el agua caliente para mantener a temperatura de no más de 250 C el martillo.

#### **4.5. Ejecución de la reparación**

Después de identificada la necesidad de efectuar la reparación de los martillos, además de determinada la naturaleza de la causa, el material base, la clase de falla, el proceso de soldadura, el material de aporte, el proceso de reparación; también, efectuada la preparación del personal técnico y preparada el área afectada del martillo se procederá entonces a efectuar la reparación a través de la soldadura.

#### **4.6. Inspección visual**

Una de las técnicas necesarias a realizar es la revisión visual, para la inspección de las uniones soldadas, esta técnica es fácil de aplicar, no detiene la producción debido a que es una técnica que no emplea mayor tiempo, y tiene un costo relativamente bajo. Es importante mencionar que la inspección de la soldadura debe realizarse antes de aplicar la soldadura, durante la labor de aplicación, y después de terminada la aplicación de la soldadura.

Antes de iniciar con el proceso de soldadura, el técnico debe revisar el material a soldar, en busca de defectos tales como rebabas, escorias, pandeo, falta de dimensiones, rectitud de la pieza, entre otros. Después de unir las partes que se soldaran, el técnico debe percatarse si existen aberturas incorrectas, preparación incorrecta de los bordes, falta de cuadratura y otras características de preparación de la junta que pudieran afectar la calidad de la junta soldada.

En la inspección visual durante la aplicación de la soldadura, el técnico debe verificar que se esté cumpliendo con cada requerimiento del manual o guía. En este punto, la inspección visual es crítica en el paso de raíz en las soldaduras, donde esta tiende a figurarse debido a la tendencia a solidificarse de forma rápida y propensa a capturar gases o escorias.

La inspección después de la soldadura se usa para evaluar la calidad de la soldadura. Los defectos superficiales pueden ser identificados y se pueden necesitar reparaciones en la soldadura. Las variaciones dimensionales de tolerancias y defectos en apariencia son detectadas a través de la inspección visual.

Es importante aclarar que las discontinuidades de la superficie pueden identificarse a través de la inspección visual e inmediatamente puede rechazarse, cuando se exceda en los límites especificados por la norma aplicable como:

- Socavaciones
- Traslapes
- Rugosidades de la superficie
- Porosidad
- Rajaduras
- Desviaciones del perfil de soldadura
- Escorias

Para identificar y evaluar precisamente las discontinuidades de la superficie de la soldadura, este debe estar limpio de toda escoria y óxidos, el proceso de limpieza debe realizarse de forma cuidadosa, para evitar enmascarar cualquier discontinuidad que salte a la vista. Como si se utiliza un martillo picador para retirar la escoria, las marcas del martillo podrían enmascarar las rajaduras más finas. De igual forma, la limpieza con chorro de arena, podría dañar la superficie de los depósitos de soldadura suaves y esconder las discontinuidades.

Es importante mencionar que la apariencia de la superficie de la soldadura debe cumplir con los requisitos de las normas aplicables, las normas generalmente permiten una cantidad limitada de socave, tamaño y porosidad más pequeño, en tanto que las rajaduras, fusión incompleta y los cráteres por falta de relleno no se aceptan.

Figura 9. **Martillo recuperado en reposo**



Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se observa el martillo en reposo, esto es después del proceso de soldadura, en el taller de la empresa. En la inspección visual después de soldar, se debe verificar la calidad de la soldadura, que la apariencia de la superficie sea aceptable, que sea garante de calidad, la verificación visual es indicador confiable de la parte interna de la soldadura. También, los procesos de inspección visual correctos en la fabricación aumentan la fiabilidad del procedimiento de soldadura.

#### **4.7. Verificación de peso y dimensiones del martillo**

En el presente apartado se muestra el proceso para realizar la verificación de peso y dimensiones del martillo de molienda. Cabe mencionar que el diseño de los martillos es el aspecto esencial del molino, ya que estos son los encargados de producir la fractura del producto para obtener la acción de molienda. Ya que la acción del martillo sobre el material se da de forma frontal, la primera consideración de diseño es sobre el espesor del martillo, el cual debe impactar una gran superficie del producto a molturar.

El proceso para desmontar los martillos del molino es el siguiente: se levanta la tapa superior del molino, la que está asegurada con pernos en la parte exterior, una vez levantada la tapa se retira la chumacera que asegura el rodamiento, seguidamente poder levantar el eje central el cual aloja los discos en los que se incrustan los pasadores que sostienen los 12 martillos; en seguida de haber levantado el eje central, el técnico operativo procede con una pulidora a retirar las soldaduras que sostienen los pasadores; después de retirar estas soldaduras se extraen los pasadores y se coloca en posición cada martillo.

Para el proceso de verificación de peso y dimensiones del martillo, se toman los 12 martillos desgastados, y se realiza la medición de ciertas dimensiones que se ven afectadas por el desgaste. Esto con el objetivo de poder manejar un promedio de hasta qué punto se ve afectada la pieza por el desgaste.

La verificación de peso se realiza por medio de una balanza, es importante mencionar que todos los martillos deben pesar lo mínimo para que el sistema este balanceado, la verificación de medidas de diámetro de los martillos es

visual, son medidas de forma manual con un metro. A continuación, se describen los pasos de mencionado proceso:

- Primer paso: se colocan los martillos en fila para identificarlos del primero al último.
- Segundo paso: se procede a pesar uno por uno, luego se registran en una hoja de control, especificando el peso y diámetro de cada uno de los martillos.

Figura 10. **Identificación de martillo para peso**



Fuente: elaboración propia.

La figura anterior muestra un martillo de molino de molienda, el cual muestra un tipo de desgaste de abrasión o impacto, el material es de acero al manganeso, debido al desgaste que representa tiene un peso de 38 a 39,2 libras.

- El tercer paso: consiste en una vez identificados y registrados en la hoja de registro, se envían al taller de recuperación de martillos.



Figura 11. **Identificación de martillo desgastado**



Fuente: elaboración propia.

La figura anterior muestra un martillo de molienda desgastado; desde una perspectiva frontal se observa que tiene un desgaste tipo abrasión o impacto, causado por el movimiento excesivo de los cuerpos externos, este martillo fabricado con material acero al manganeso, tiene un peso de 38 a 39,2 libras.

El proceso de verificación de peso y dimensiones del martillo, se realiza antes de la recuperación y después, se realiza el mismo proceso adhiriendo las dimensiones que deben ser iguales más no exactas, no obstante, lo que siempre debe ser igual es el peso de todos los martillos. Como se muestra en la siguiente imagen, una vez finalizado el proceso de recuperación se procede con la verificación de los mismos.

Figura 12. **Revisión de dimensiones y peso de martillo**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.8. Balance dinámico del tándem de martillos**

Efectuar el balanceo dinámico, comprende añadir o remover pesos de corrección, de forma que el eje principal de inercias se acerque al eje de giro hasta que la vibración residual, este en los niveles aceptables del molino.

Se realiza el balanceo dinámico cuando, una pieza se encuentra desbalanceada, es decir, cuando su centro de masa, centro de gravedad, no coincide con el centro geométrico. Esta situación es resultado de una distribución diversa del peso del rotor en torno a su centro geométrico.

El desbalanceo, es uno de los factores principales causantes de vibración en el molino de martillos. Este es un resultado que afecta la producción, generando paros no programados, provocando fuerzas nocivas en la misma falla prematura en rodamientos. Las causas del desbalance pueden ser las siguientes:

- Desgaste del material
- Cambios en la condición de operación del molino de martillos
- Golpes
- Adherencias de material

Los efectos del desbalanceo en el molino de martillos pueden ser los siguientes:

- Vibraciones periódicas del molino de martillos
- Fatiga en soldaduras, uniones, entre otros
- Vibraciones transmitidas a otros equipos
- Daños en rodamientos, bujes, chumaceras, entre otros
- Daños a cimentación del molino de martillos
- Rozamiento de rotores en cuerpos de alojamiento
- Pérdida de precisión en maquinado de parte
- Daño a sistemas eléctricos y electrónicos
- Calentamiento
- Ruido

Las ventajas de realizar el balance dinámico del tándem de martillos son las siguientes:

- Reducción de costos en reparaciones.
- Eliminación de la vibración y daños en la trituración.
- Mejora en la eficiencia de los equipos y se logra una mayor fiabilidad de la planta.
- Prolonga la vida de los rodamientos y otros componentes del molino de martillos.

- Reducción del consumo eléctrico del motor.
- Reducción de condiciones de riesgo.

Por lo tanto, para que el sistema tenga un balance dinámico, los 12 martillos deben tener el mismo peso, resumiendo, el sistema de balance dinámico se da cuando, en una rotación perfecta, la falta de este produce vibraciones en el motor; consecuentemente, esto provoca daños en todo el sistema de trituración; es importante resaltar, que en el caso de que uno de los martillos no llegue al peso deseado, debe añadirse más soldadura para lograrlo y de esta manera no se produzcan los problemas enlistados anteriormente.

Este proceso es visual, lo primordial en la recuperación del martillo es el peso, actualmente no existen medidas estándar más que las que se indican en la imagen, lo que manda en este proceso es el peso.

Figura 13. **Balanceo dinámico**



Fuente: elaboración propia.

En la imagen anterior se observa, la revisión geometría del martillo de molino ya recuperado, que mide 4 pulgadas con 10 centímetros de diámetro.

Figura 14. **Martillo de molienda reparado**



Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se observa un martillo recuperado, con soldadura MIG/MAG, que tiene un peso 52 libras; para esta revisión se utiliza alambre para levantar y electrodo para toques finales y lograr alcanzar el peso para el balanceo dinámico.

Figura 15. **Balance dinámico tándem**



Fuente: elaboración propia.

En la imagen anterior se observa la revisión del balance dinámico del tándem, de los martillos del molino ya recuperado; fase de suma relevancia para garantizar la vida útil de los rodamientos en el proceso de molienda.



## 5. IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA MIG/MAG

### 5.1. Principios del proceso

En la soldadura por arco eléctrico con gas, conocida como proceso MIG/MAG, por sus siglas en inglés: MIG (*metal inert gas*) y MAG (*metal active gas*).

En este procedimiento se establece el arco eléctrico entre el electrodo consumible protegido y la pieza a soldar. La protección del proceso recae sobre un gas, que puede ser inerte, es decir, que no participa en la reacción de la soldadura, dando lugar al llamado procedimiento de soldadura MIG o por el contrario el gas utilizado es activo, que participa de forma activa en la soldadura, dando lugar al llamado procedimiento MAG. Existen dos clasificaciones en este proceso, las cuales son en función del tipo de gas protector: MIG y MAG.

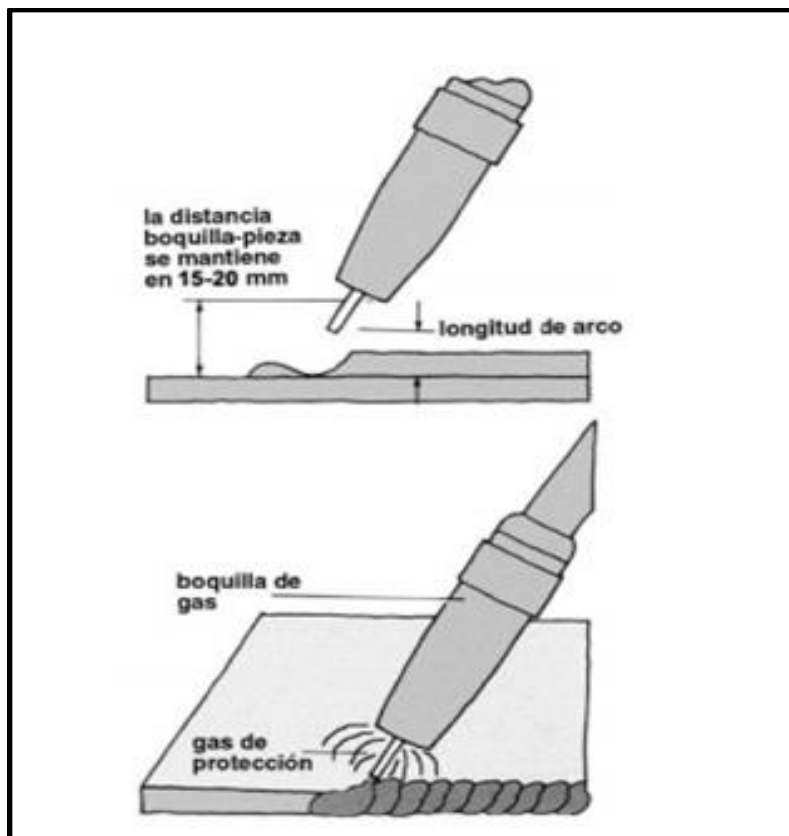
- Soldadura por arco metálico con gas inerte MIG

El cual emplea protección de un gas puro e inerte (helio, argón, entre otros) usada para metal no ferroso. Es decir, la soldadura por arco metálico con gas inerte MIG por sus iniciales en inglés *metal inert gas* es un proceso semiautomático que proporciona para la soldadura por arco eléctrico con gas de protección. Para proporcionar el calor necesario para la operación de soldadura se requiere un arco de bajo voltaje (16-40 V) y alta intensidad (60-600 A) que se establece entre el electrodo y la pieza de trabajo. El electrodo, arco, metal



fundido y área de soldadura están protegidos de la contaminación atmosférica mediante una corriente de gas de protección.

Figura 16. **Soldadura ampliada MIG**



Fuente: DOYLE, Lawrence E. *Materiales y procesos de manufactura ingenieros*. p. 87.

La unidad de alimentación aporta el hilo/electrodo dentro del arco eléctrico. Mediante la fuente de potencia se consigue mantener constante la tensión y la longitud de arco, permitiendo al soldador concentrarse en asegurar la fusión completa de la unión.

Las fuentes de potencia empleadas en la soldadura MIG se llaman fuentes de voltaje constante ya que tienen una pendiente característica de la fuente de soldadura. Las soldaduras que están localizadas en posiciones en las cuales el metal fundido tiende a salir hacia fuera de la unión por acción de la gravedad, es decir, vertical, sobre cabeza, además se sueldan a menores intensidades (60 A -180 A). La técnica apropiada para este tipo de unión es:

- Transferencia en cortocircuito: se transfiere el metal a la unión cuando el alambre de aporte contacta con el baño de fusión.
- Transferencia en arco pulsado: se transfiere el metal a la unión en forma de pequeñas gotas (tipo spray) controladas mediante impulsos regularmente espaciados.

La calidad de la soldadura en la soldadura MIG depende del ajuste de las variables de soldadura. A continuación se muestran aspectos relevantes de este tipo de soldadura:

- La velocidad de alimentación del alambre establece el amperaje de soldadura.
- El voltaje controla el perfil de la soldadura.
- La inductancia en la transferencia en cortocircuito estabiliza el arco y reduce el nivel de proyecciones.
- La inductancia baja: aceros al carbón, aluminio, cobre.
- La inductancia alta: aceros inoxidable.

En el mismo orden de ideas, es preciso dar la descripción, características de los gases argón y helio que generalmente se utilizan en el tipo de soldadura MIG. Por lo tanto, los gases representan uno de los tres estados comunes de la materia: sólido, líquido, y gaseoso. Hay muchas sustancias que pueden existir en los tres estados, el agua por ejemplo, puede existir como líquido, sólido (hielo) o gas (vapor de agua).

- Argón: el empleo de este gas bajo procedimiento MIG repercute en crear una buena estabilidad del arco, debido al bajo potencial de ionización que genera. Es idóneo para soldar piezas de espesores pequeños. Este gas no se usa para soldar aceros dado que el baño que origina tiene poca fluidez y con tendencia a formar poros, a la vez que mordeduras a ambos lados del cordón.

Cabe agregar que el gas argón es un tipo de gas criogénicos, estos productos existen a temperaturas menores de  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se transportan y almacenan en contenedores especiales térmicamente aislados tal y como se muestra en la siguiente figura; especialmente, diseñados para proteger a los gases del calor externo. El oxígeno, el nitrógeno y el argón son ejemplos de gases criogénicos que existen en estado líquido a muy bajas temperaturas.

Figura 17. **Tanque de argón**



Fuente: DOYLE, Lawrence E. *Materiales y procesos de manufactura ingenieros*. p. 87.

El argón es el más abundante de los gases raros en el aire (0,9 % en vol.). Es incoloro, sin sabor, no es tóxico, ni inflamable. Es un 30 % más pesado que el aire; además, es extremadamente inerte, caracterizado por una perfecta estabilidad física y química, a cualquier temperatura y presión.

Además es un excelente conductor de la electricidad. A presión atmosférica y temperatura inferior de  $-186\text{ }^{\circ}\text{C}$  es un líquido incoloro, más pesado que el agua; entre los usos que generalmente se dan son los siguientes:

- Soldadura en atmósfera de gas inerte (procesos MIG, TIG, plasma).

- Metalurgia y siderurgia, para tratamientos térmicos en atmósfera protectora, desgasificación y desulfuración, entre otros.
- En electricidad y electrónica, para relleno de ampollitas, tubos fluorescentes, entre otros, en los que previene la oxidación de los filamentos incandescentes.
- En laboratorios especializados es utilizado para aplicaciones en cromatografía, espectrofotometría, entre otros.
  - Helio: es un tipo de gas de elevada conductividad, a la vez que genera poca penetración de soldeo y cordones anchos. Es un elemento gaseoso, inerte, incoloro e inodoro.

Es importante mencionar que el helio en condiciones normales es un gas sin color, olor ni sabor. Está presente en el aire en muy baja concentración (5 ppm). Es un gas 7 veces más liviano que el aire. Es sumamente inerte, no inflamable y el menos soluble en líquidos de todos los gases.

El helio se licúa a temperaturas extremadamente bajas (-268,9 °C) y para congelarlo debe ser enfriado a una temperatura cercana al cero absoluto (- 271,4 °C) punto en que, además, se le debe aplicar una presión de 435,114 psi, siendo la única sustancia que permanece fluida a tan bajas temperaturas, por lo que es de gran importancia para la investigación científica; es un componente escaso del aire, su extracción desde la atmósfera es impráctica.

Figura 18. **Tanque de helio**



Fuente: DOYLE, Lawrence E. *Materiales y procesos de manufactura ingenieros*. p. 87.

Normalmente se obtiene de algunos yacimientos petrolíferos que lo contienen en altas concentraciones. Entre los usos que generalmente se dan a este tipo de gas son:

- Se usa helio, asociado con oxígeno o aire, para crear atmósferas respirables en inmersión submarina, y en ciertas enfermedades de vías respiratorias. En fase líquida el helio es un elemento fundamental para el funcionamiento de los equipos de imagen por resonancia magnética.
- Se utiliza como atmósfera inerte de protección en soldadura MIG/MAG.

- Por su baja densidad y no inflamabilidad, es usado para inflar globos publicitarios, meteorológicos, de diversión, entre otros.
  - Por su capacidad de mantenerse fluido a bajas temperaturas y su elevada conductividad térmica, puede ser usado en criogenia, en aplicaciones especiales de refrigeración y en enfriamiento de equipos industriales.
  - Se usa también en detección de fugas.
  - Es ampliamente utilizado como gas de arrastre para cromatografía gaseosa.
- Soldadura por arco metálico con gas activo MAG

El cual hace uso de dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, como gas protector. Usado para metal ferroso. Genera un arco muy enérgico, que consigue mayor penetración, a la vez que origina mayor cantidad de proyecciones y salpicaduras. El aspecto final del cordón suele ser rugoso. Como material de aporte se utiliza con hilos que contienen composición alta de Si y Mn, realizándose la transferencia de material en cortocircuito. Su uso se restringe al acero, consiguiéndose mejorar la penetración.

La soldadura por arco metálico con gas activo MAG por sus iniciales en inglés *metal active gas* es un proceso semiautomático que proporciona para la soldadura por arco eléctrico con gas de protección. Para proporcionar el calor necesario para la operación de soldadura se requiere un arco de bajo voltaje (16-40 V) y alta intensidad (60-600 A) que se establece entre el electrodo y la pieza de trabajo. El electrodo, arco, metal fundido y área de soldadura están

protegidos de la contaminación atmosférica mediante una corriente de gas de protección. Y tiene las mismas características de soldadura del MIG.

- Dióxido de carbono CO<sub>2</sub>

El dióxido de carbono en condiciones normales, es un gas incoloro e inodoro, con sabor ligeramente picante, existe en la atmósfera en baja concentración, entre 0,03 y 0,06 % en volumen.

Su punto triple (donde coexisten los tres estados de la materia) se produce a -56,57 °C y 75,2 psia. Bajo esa presión el dióxido de carbono sublima, en otras palabras, pasa directamente de sólido a gas sin pasar por la fase líquida. A presión de una atm., el CO<sub>2</sub> sublima si la temperatura es de -78,5 °C. El CO<sub>2</sub> sólido se conoce comúnmente como hielo seco.

A presiones mayores de 75,2 psia y temperaturas menores de 31,06 °C (punto crítico), el CO<sub>2</sub> se presenta en forma líquida y gaseosa simultáneamente, fases que existen en equilibrio en un contenedor cerrado. El dióxido de carbono es obtenido de la combustión de carbón, gas natural u otro hidrocarburo, de yacimientos naturales o de los procesos de fermentación. Los usos que generalmente se le dan a este tipo de gas son:

- Dióxido de carbono CO<sub>2</sub>

- El CO<sub>2</sub>, se utiliza ampliamente en la creación de atmósferas protectoras para soldaduras al arco y MIG. En las fundiciones se utiliza como agente endurecedor de moldes y arena.



- En la industria alimenticia tiene importantes aplicaciones: Carbonatación de bebidas, aguas minerales, entre otros. Protección de vinos, cervezas y jugos de frutas contra la oxidación por contacto con aire.
- En congelación: analgésico antes de la matanza de animales.
- En enlatado de productos: por sus características inertes, se usa también como agente extintor fuego y en el manejo, transporte y procesos de manufactura de materiales inflamables.

Figura 19. **Tanque de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>**



Fuente: DOYLE, Lawrence E. *Materiales y procesos de manufactura ingenieros*. p. 87.

En la soldadura MIG se utiliza regularmente el dióxido de carbono, que es un gas que es más barato que otros empleados en soldadura como el argón. No obstante, es preciso mencionar que origina peligro de formación de hielo, por lo que requiere el uso de calentadores. Especial atención y cuidado requiere la atmósfera con alto contenido en CO (gas tóxico) que genera, por lo que se requiere disponer de extractores en los lugares de soldeos para renovar el aire.

Una vez explicado, los tipos de soldadura MIG y MAG, por separado, se procede a la descripción en general objeto de estudio.

La soldadura MIG/MAG es un proceso versátil, deposita el metal a gran velocidad y en todas las posiciones, este procedimiento es muy utilizado en espesores pequeños y medios en estructuras de acero y aleaciones de aluminio, especialmente donde se requiere un gran trabajo manual.

La soldadura por arco con hilo electrodo fusible y protección gaseosa, procedimiento MIG/MAG, utiliza como material de aportación un hilo electrodo continuo y fusible, que se alimenta automáticamente, a través de la pistola de soldadura, a una velocidad continua pero regulable.

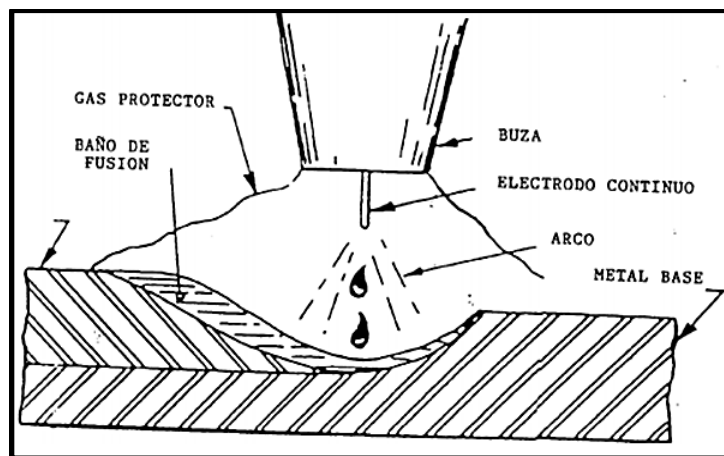
El baño de fusión está completamente cubierto por un chorro de gas protector, que también se suministra a través de la pistola. El procedimiento puede ser totalmente automático o semiautomático.

Cuando la instalación es totalmente automática, la alimentación del alambre, la corriente de soldadura, el caudal de gas y la velocidad de desplazamiento a lo largo de la unión, se regulan previamente a los valores adecuados, y luego, todo funciona de forma automática.

En la soldadura semiautomática la alimentación del alambre, la corriente de soldadura y la circulación de gas, se regulan a los valores convenientes y funcionan automáticamente, pero la pistola hay que sostenerla y desplazarla manualmente. El técnico operador dirige la pistola a lo largo del cordón de soldadura, manteniendo la posición, longitud del arco y velocidad de avance adecuados.

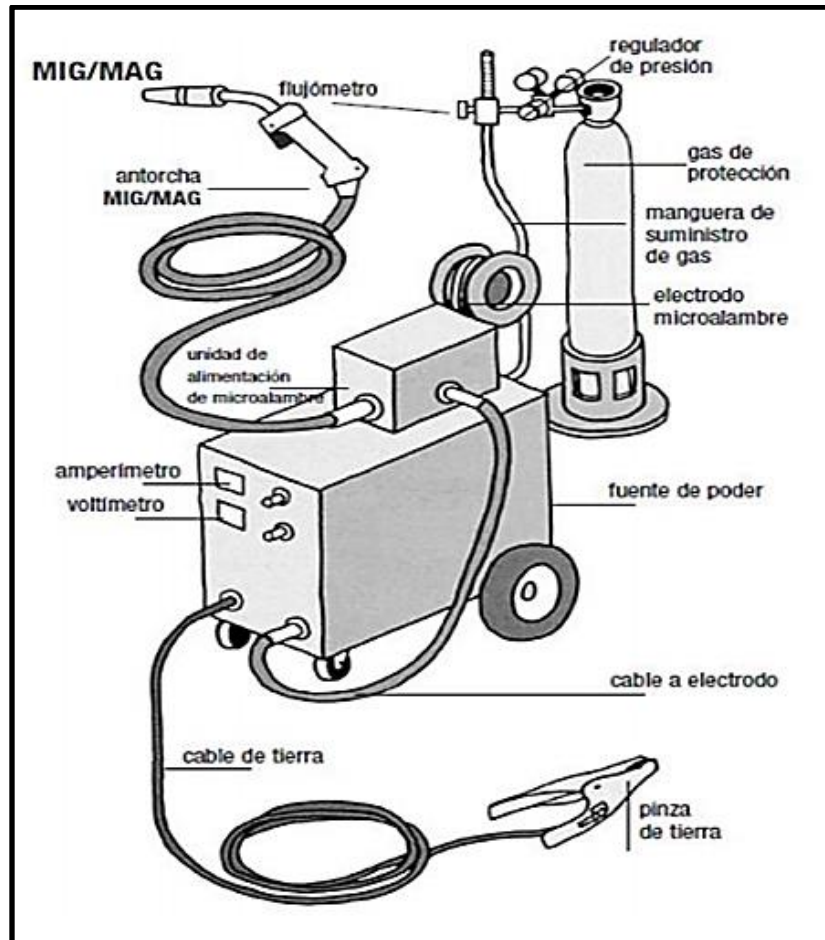
El empleo del procedimiento MIG/MAG se hace cada vez más frecuente en el sector industrial, debido a su alta productividad y facilidad de automatización. La flexibilidad es otro aspecto importante que hace que este procedimiento sea muy empleado, dado que permite soldar aceros de baja aleación, aceros inoxidable, aluminio y cobre, en espesores a partir de los 0,5 mm y en todas las posiciones. La protección por gas garantiza un cordón de soldadura continuo y uniforme, además de libre de impurezas y escorias. Además, la soldadura MIG / MAG es un método limpio y compatible con todas las medidas de protección para el medio ambiente

Figura 20. **Representación de proceso de soldadura MIG/MAG**



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Soldadura MIG/MAG



Fuente: elaboración propia.

## 5.2. Características del proceso

La soldadura por arco de metal y gas GMAW (*gas metal arc welding*) se ha convertido en uno de los principales métodos por sus diversas características a continuación se muestran algunas por separado según la soldadura MAG y MIG:

- La aplicación MAG, que utiliza gas activo:
  - Genera mayor penetración de la soldadura
  - Mejora las propiedades físicas de la unión
  - Aumenta su resistencia al impacto
  - Aumenta su resistencia a la corrosión
  - Resistente a cambios de temperatura
  
- En MIG por ser un gas inerte es más estable
  - No reacciona con el metal
  - No influye en las propiedades del fundido
  - La soldadura tiene una menor penetración
  - Mejor acabado
  - No causa deformaciones en las piezas delgadas
  - Es especial para trabajos en materiales delicados

Las características en general del proceso de soldadura MAG/MIG son las siguientes:

- Incrementa la productividad.
- Mejora la presentación de los cordones de soldadura.
- Produce menos escoria.
- Cumple con las medidas de protección ambiental.
- Fuente de calor: por arco eléctrico.

- Tipo de electrodo: consumible.
- Tipo de protección: por gas inerte (MIG); por gas activo (MAG).
- Material de aportación: externa mediante el mismo electrodo que se va consumiendo.
- Aplicaciones: el procedimiento MAG se aplica a los aceros, mientras que el procedimiento MIG para el resto de metales.

Además, las buenas características de penetración del procedimiento MIG/MAG permiten la preparación con bordes más cerrados, con el consiguiente ahorro de material de aportación, tiempo de soldadura y deformación. En las uniones mediante cordones en ángulo también permite reducir el espesor del cordón en relación con otros procedimientos de soldeo.

También, se menciona que el argón y dióxido de carbón, las mezclas de gas argón con el 20 % a 50 % de dióxido de carbono son usadas en la soldadura por arco GMAW en aceros al carbón y aceros de baja aleación en el modo de transferencia corto circuito. Las características típicas son:

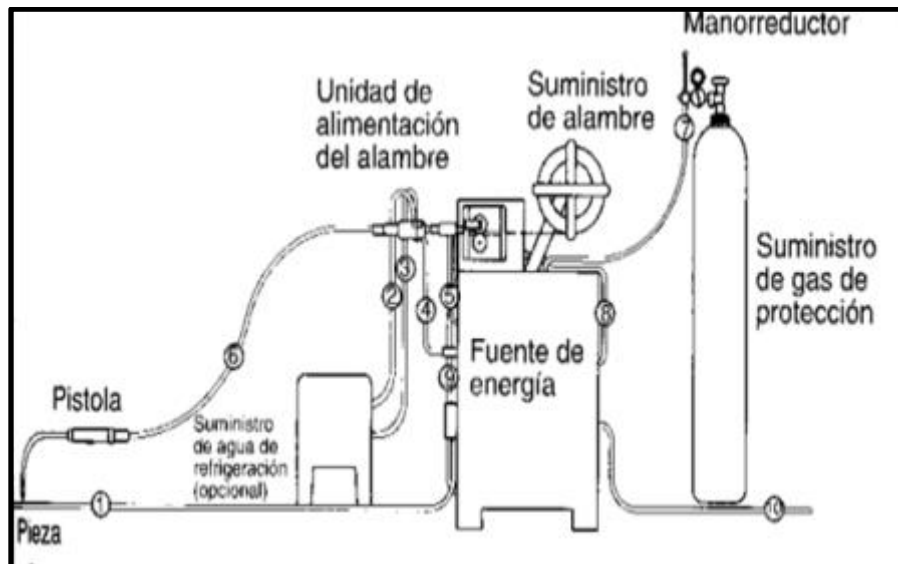
- Buena forma del cordón.
- Menor penetración que con la protección de dióxido de carbono.
- Pileta de soldadura no tan fluido como con la protección de dióxido de carbono.
- Pileta de soldadura más fría, posible traslapamiento frío.

- La mezcla mínima de argón para soportar la transferencia spray axial es 80 % de argón, 20 % dióxido de carbono.
- Puede soldar fuera de posición.

Entre las características de este tipo de soldadura, se menciona el equipo de soldeo que está constituido fundamentalmente por:

- Cable de masa
- Agua o aire hacia la pistola
- Agua o aire desde la pistola
- Conexión del interruptor de la pistola
- Gas de protección hacia la pistola
- Conjunto de cables
- Gas de protección desde el cilindro o botella
- Conexión de control
- Cable de la pistola
- Suministro de energía

Figura 22. **Equipo de soldeo**



Fuente: HORWITZ, Henry. *Manual de soldadura*. p. 57.

En la imagen anterior se visualiza el equipo de soldeo para este tipo de soldadura.

Es importante mencionar, las normas que regulan la soldadura MIG/MAG, la Sociedad Americana de Soldadura, American Welding Society AWS y la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos American Society of Mechanical Engineers ASME son las máximas autoridades en el mundo de la soldadura, las cuales dictan las normas de clasificación de los electrodos para soldadura eléctrica, ya que son las más reconocidas internacionalmente.

### 5.3. **Ventajas del proceso**

La soldadura MIG/MAG tiene ventajas respecto al procedimiento de electrodo revestido, entre ellas cabe destacar:



- La mayor productividad que se obtiene, debido a que se eliminan los tiempos muertos empleados en reponer los electrodos consumidos. Se estima que para el procedimiento usando electrodo revestido, el hecho de desechar la última parte del electrodo antes de reponerlo por otro, más el consiguiente proceso de cebado del arco, hace que solo el 65 % del material es depositado en el baño, el resto son pérdidas. Sin embargo, el empleo de hilos continuos en forma de bobinas, tanto del tipo sólidos como tubulares, como material de aportación para el procedimiento MIG-MAG aumenta el porcentaje de eficiencia hasta el 80 % a 90 %. Además, al disminuir el número de paradas se reduce las veces del corte y posterior cebado del arco, por lo que se generan menos discontinuidades en el cordón como son los famosos cráteres.
- Elevado rendimiento debido a una operación continua con pequeños intervalos de interrupción y una alta velocidad de fusión del alambre resultando en una tasa de deposición superior al proceso convencional con electrodos revestidos.
- La consecuente reducción de la mano de obra y el aprovechamiento casi total del alambre de electrodo brindan al proceso un bajo costo final.
- El proceso es de gran versatilidad permitiendo en la mayoría de las aplicaciones de soldadura en todas las posiciones cubriendo una amplia franja de espesores.
- Se trata de un método limpio y compatible con todas las medidas de protección para el medio ambiente, puesto que no hay escoria y las proyecciones suelen ser escasas, se simplifican las operaciones de limpieza, lo que reduce notablemente el costo total de la operación de la soldadura.

- En algunos casos, la limpieza del cordón resulta más cara que la propia operación de soldeo, por lo que la reducción de tiempo de limpieza supone la sensible disminución de los costos.
- Fácil especialización de la mano de obra. En general, un soldador especializado en otros procedimientos, puede adquirir fácilmente la técnica de la soldadura MIG/MAG en cuestión de horas.
- Gran velocidad de soldadura, especialmente si se compara con el soldeo por arco con electrodos revestidos. Puesto que la aportación se realiza mediante un hilo continuo, no es necesario interrumpir la soldadura para cambiar electrodo. Esto no solo supone una mejora en la productividad, sino también disminuye el riesgo de defectos. Hay que tener en cuenta las interrupciones, y los correspondientes empalmes, ya que son con frecuencia, origen de defectos tales como inclusiones de escoria, falta de fusión o fisuras en el cráter.
- La velocidad del proceso MIG/MAG influye favorablemente en el aspecto metalúrgico de la soldadura. Al aumentar la velocidad de avance, disminuye la amplitud de la zona afectada de calor, hay menos tendencia de aumento del tamaño del grano, se aminoran las transformaciones de estructura en el metal base y se reducen considerablemente las deformaciones.
- De todos los métodos de soldadura, el MIG es el que mantiene concentrado el material de aporte a través del arco.
- La velocidad de fusión del material de aporte es muy alta, por lo cual se presenta menos distorsión en el material.

- Con la soldadura MIG se consigue mayor penetración que con otros métodos.
- En las uniones en V se requiere un chaflán más pequeño que el empleado para soldar con electrodo revestido ordinario, lo cual implica menos material de aporte para llenar el chaflán y menos calentamiento.
- La pistola y los cables siempre son ligeros, haciendo muy fácil su manipulación.
- Se puede realizar el soldeo en cualquier posición.
- El arco siempre es visible para el operador.
- Rapidez de deposición.
- Alto rendimiento.
- Posibilidad de automatización.
- Permite soldar con mayor facilidad espesores delgados.
- La densidad de corriente es más alta que con otros métodos.
- Grandes cordones sin interrupción.
- Eficiencia del electrodo del 98 %.

- Hay un menor número de empalmes en cordones largos y hay pocas salpicaduras.

#### **5.4. Limitantes del proceso**

La única desventaja del proceso de soldadura MIG – MAG consiste en la complejidad en el momento de establecer los parámetros a regular mediante el procedimiento MIG/MAG, que son, entre otros, la velocidad de alimentación del hilo, su diámetro, el voltaje y el caudal de salida del gas.

#### **5.5. Aplicaciones**

Los usos del proceso GMAW están regidos por sus ventajas: es el único proceso de electrodo consumible que puede servir para soldar todos los metales y aleaciones; no tiene restricción de tamaño de electrodo; puede soldarse en todas las posiciones; alta tasa de deposición; altas velocidades de soldadura; soldaduras largas; mayor penetración; casi no se requiere de limpieza después de la soldadura.

El proceso de soldadura GMAW es empleado en la industria, fabricación ingeniería de ensambles en uniones traslapadas de acero al carbono, aluminio, magnesio, acero inoxidable y aleaciones que contengan cobre. Ampliamente utilizada en la industria automotriz y de transporte, unión de láminas, placas y perfiles, ductos, tubería, incluso en aceros duros como los empleados en los marcos de bicicleta.

En el mismo orden de ideas considerando que un proceso es un grupo de elementos de operación básicos usados en soldadura, en la siguiente lista se

muestran los procesos de soldadura y unión que proporciona las designaciones oficiales de la American Welding Society AWS de soldadura por arco:

- Soldadura de pernos por arco SW.
- Soldadura con hidrógeno atómico AHW.
- Soldadura por arco con electrodo desnudo BMAW.
- Soldadura por arco con electrodo de carbón CAW.
- Soldadura por arco con electrodo de carbón protegido por gas CAW-G.
- Soldadura por arco con electrodo de carbón protegido CAW-S.
- Soldadura por arco con electrodo de carbón gemelo CAW-T.
- Soldadura por electro gas EGW.
- Soldadura por arco con electrodo con núcleo de fundente FCAW.
- Soldadura por arco con electrodo con núcleo de fundente protegido por gas FCAW-G.
- Soldadura por arco con electrodo con núcleo de fundente autoprotegido FCAW-S.
- Soldadura por arco metálico protegido por gas GMAW.

- Soldadura por arco metálico protegido por gas pulsado GMAW-P.
- Soldadura por arco metálico protegido por gas mediante corto circuito GMAW-S.
- Soldadura por arco de tungsteno protegido por gas GTAW.
- Soldadura por arco de tungsteno protegido por gas pulsado GTAW-P.
- Soldadura por arco magnéticamente impulsado MIAW.
- Soldadura por arco de plasma PAW.
- Soldadura por arco metálico protegido SMAW.
- Soldadura por arco sumergido SAW.

#### **5.6. Rango de espesor del material base por soldar**

El rango de espesor del material base, es una de las variables del proceso de soldadura MIG/MAG, por lo tanto, es importante mencionar el proceso de variables en la misma:

Las variables de soldadura son los factores que pueden ser ajustados para controlar una soldadura. Para obtener los mejores resultados en el proceso, es necesario conocer el efecto de cada variable sobre las diversas características o propiedades del proceso de soldadura. Ciertas variables que pueden ser continuamente reguladas o fácilmente medidas constituyen controles mejores que aquellas que no pueden ser medidas o solo pueden ser modificadas indirectamente.

Para iniciar el proceso de soldadura, es necesario definir previamente algunas de estas variables, a las que se denominarán preseleccionadas. Estas son: diámetro del alambre electrodo, composición química del mismo, tipo de gas y su caudal. Los criterios que permiten una adecuada selección de estas variables son: tipo de material a ser soldado, el espesor, posición de soldadura, régimen de transferencia metálica deseada y propiedades mecánicas necesarias.

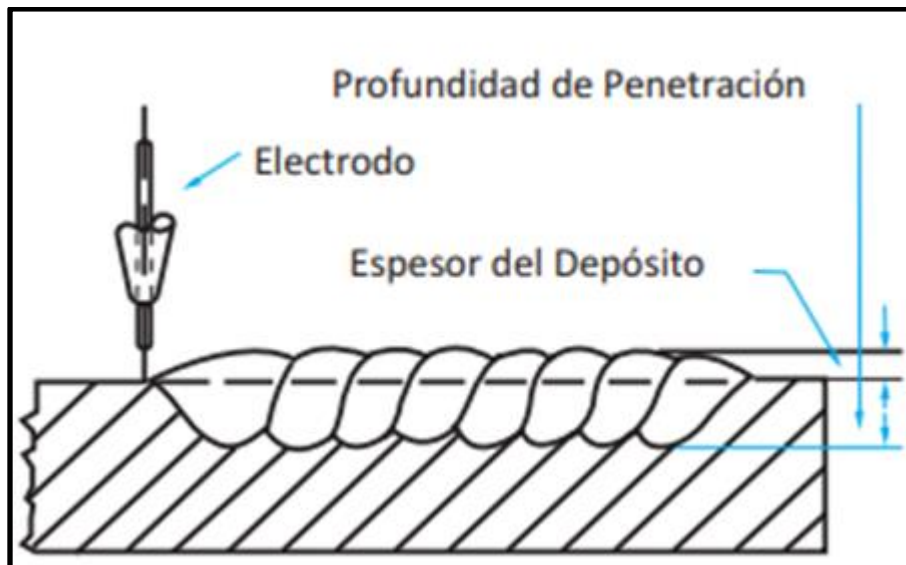
Las variables primarias son las que controlan el proceso después que las variables preseleccionadas fueron seleccionadas: controlan la forma del cordón, la estabilidad del arco, el régimen de soldadura, es decir, velocidad de aporte y cantidad de metal adicionado, la calidad de soldadura. Estas variables son: tensión de arco, corriente de soldadura y la velocidad de avance.

Las variables secundarias, que pueden ser también modificadas de manera continua, son a veces difíciles de medir con precisión, especialmente en soldadura automática. No afectan directamente a la forma del cordón, pero actúan sobre una variable primaria, que a su vez influye en el cordón. Estas variables son: altura de la boquilla, que se relaciona con la longitud del electrodo y distancia de la tobera de gas a la pieza, ángulo de la boquilla y velocidad de alimentación del alambre. La altura es normalmente la distancia entre boquilla y la pieza a soldar; puede ser controlada por el operador de soldadura MIG/MAG.

El rango de espesor del material base por soldar es de 4 mm. El espesor del material base juega un papel importante. En piezas fuertemente desgastadas es necesario interrumpir el proceso de soldadura. Se evita así una aportación excesiva de calor en la pieza que puede a su vez generar elevadas tensiones con peligro de rotura total de la pieza. Se obtiene un relleno de

superficie lisa si los distintos cordones se superponen un 50 %. El eje del alambre se coloca directamente sobre la zona de transición del cordón soldado anteriormente.

Figura 23. **Posición y espesor del electrodo en la soldadura MIG/MAG**



Fuente: HORWITZ, Henry. *Manual de soldadura*. p. 62.

### 5.7. **Recubrimientos protectores a utilizar en la recuperación de los martillos**

El recubrimiento tiene muchas funciones, si no lo hubiera, el metal fundido se combinaría con el oxígeno y el nitrógeno del aire. Por tanto, es necesario proteger tanto el metal de aporte del electrodo como el metal base fundido que se suelda; este es la mezcla del metal base fundido y el metal fundido del electrodo que, cuando se solidifica forma la soldadura en sí.



El arco se puede proteger con una envoltura de un gas inerte, el cual no producirá una reacción química con el metal fundido. El recubrimiento de los electrodos suministra el gas protector.

Algunos de los elementos utilizados en los recubrimientos son magnesio, silicatos de aluminio y talco, todos ellos son formadores de escoria. Los fluoruros de calcio, carbonatos de calcio, ferromanganeso, ferró silicio y ferro titanio son agentes fundentes. El silicato de sodio se utiliza como agente aglutinante. La celulosa, que forma un gas, protege la zona de la soldadura.

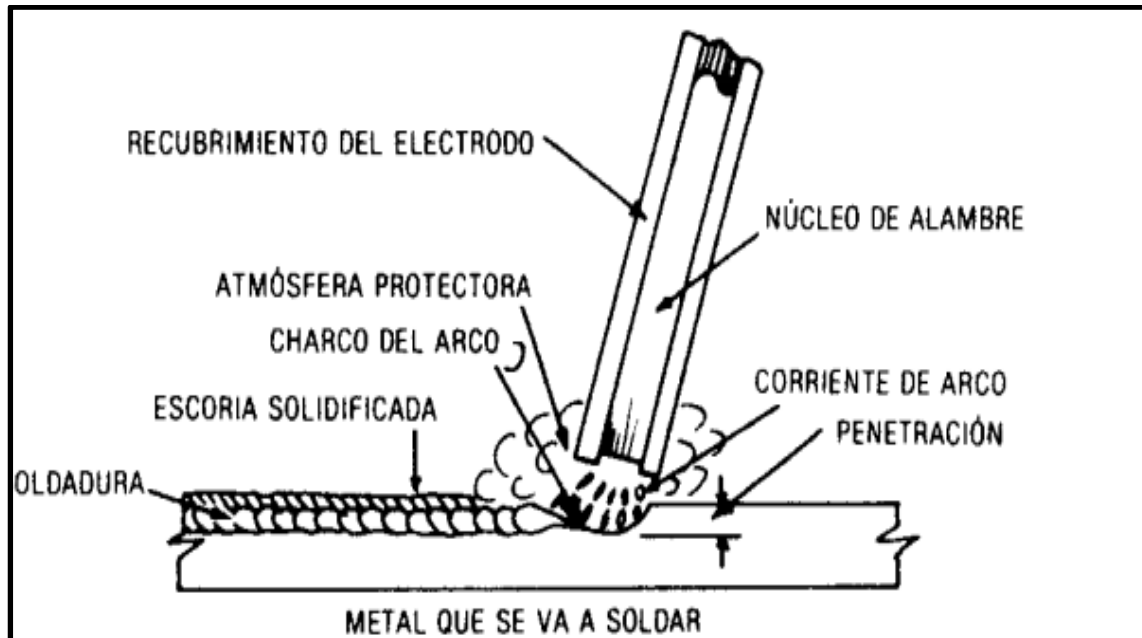
Las principales funciones de los recubrimientos de los electrodos son:

- Reducir al mínimo la contaminación del metal de soldadura con el oxígeno y el nitrógeno atmosféricos.
- Compensar las pérdidas de ciertos elementos durante la transferencia del metal a través del arco, porque el recubrimiento incluye aleaciones.
- Concentrar el arco en una zona específica porque forma una taza o copa en la punta del electrodo, que se debe a la fusión más lenta del recubrimiento.

Es importante mencionar que el recubrimiento, también forma escoria en la parte superior del metal fundido que se suelda, la cual protege al metal fundido durante el enfriamiento y también ayuda a configurar la soldadura. Se elimina después que se ha enfriado la soldadura. La escoria, además de formar una capa protectora sobre la soldadura, también, debe poseer las siguientes características:

- Tener un punto de fusión más bajo que el del metal que se suelda. De lo contrario, hay el peligro de que la escoria se solidifique antes que el metal de aporte depositado.
- Tener una densidad, en su estado fundido, que sea menor que la del metal de soldadura, para que pueda flotar en la superficie.
- Debe tener suficiente viscosidad para que no fluya sobre una superficie muy grande. Sirve para evitar la contaminación del metal de la soldadura con el aire atmosférico.
- No debe contener elementos que produzcan reacciones indeseables con el metal de soldadura.
- Se dilatará, pero en forma distinta a la del metal de soldadura, para que se pueda desprender de éste cuando este frío.
- Tener una tensión de superficie que impida la formación de glóbulos grandes.

Figura 24. Elementos básicos para la soldadura



Fuente: HORWITZ, Henry. *Manual de soldadura*. p. 65.

Los elementos, que intervienen en la composición del recubrimiento, son minerales, silicatos, ácidos, fundentes, bases, sustancias orgánicas y, por los efectos que producen o por la función que desempeñan. A continuación, se muestran los pasos de recubrimiento protector a utilizar en la recuperación de martillos:

- Primer paso: levantar o colocar la base: el material de recubrimiento a utilizar es acero al manganeso tipo Hatfield, estos aceros se caracterizan por las propiedades mecánicas como: alta resistencia a la tracción y a la compresión, alta ductilidad y excelente resistencia al desgaste. Es importante agregar que el acero Hadfield es el único que combina alta

resistencia y ductilidad con gran capacidad de endurecimiento por deformación y, usualmente, buena resistencia al desgaste.

Figura 25. **Levantamiento de base para aleación de revestimiento en el martillo**



Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior, se observa el levantado con aleación base, es importante mencionar que por lo general, las aleaciones de recargue resistentes a desgaste por abrasión tienen:

- Muy elevada resistencia a compresión
  - Débil resistencia a tracción
  - Débil resistencia a cizallamiento
- Segundo paso: es el recubrimiento a utilizar como protector: la aleación de revestimiento duro de alto cromo.

En la imagen siguiente se observa el martillo trabajado con el levantado de aleación base, este generalmente puede ser un acero 307 o Hadfield, de revestimiento duro, básico de alta tenacidad y resistencia a altas temperaturas, que proporciona resistencia al impacto, abrasión y presión.

Figura 26. **Aleación de revestimiento en el martillo**



Fuente: elaboración propia.

## **5.8. Selección de recubrimientos protectores**

La selección del electrodo adecuado se inicia con el reconocimiento de los factores que actúan en esta determinación inicial se complementa con el estudio de los aspectos siguientes:

- Influencia de la abrasión, rozamiento, corrosión entre otros. en el desgaste o deterioro que sufre la pieza, es decir las causas secundarias o paralelas.

- Necesidad de maquinado o forjado del depósito de soldadura.
- Composición y condición de la pieza a recubrir.
- Si las características físicas de la pieza a recubrir no se alteran fuertemente por el calentamiento o enfriamiento brusco.
- Si la pieza resiste cambios de temperatura violentos y localizados, sin agrietarse o romperse.
- Espesor del metal a depositar, ya que debe evitarse la deposición de demasiadas capas con determinados electrodos; en general nunca depositar más de 3 capas de cualquier recargue o recubrimiento protector.

La segunda fase en la selección del electrodo es ajustar las características y condiciones señaladas del trabajo a las características y propiedades de los electrodos. Es imprescindible para el soldador responsable, saber en qué medida los diversos electrodos cumplen con las exigencias requeridas.

El recubrimiento protector o revestimiento duro, es el depósito de un material de aporte, en este caso la aleación, sobre una superficie metálica, con el objetivo de obtener dimensiones y propiedades deseadas.

Es decir, que el recubrimiento protector consiste en el depósito de una o varias capas de soldadura de características muy especiales en las superficies de piezas desgastadas o deterioradas, evitándose de esta manera el costoso reemplazo de la pieza.

Gracias a las capas de recubrimiento protector, que se aplican a las piezas mediante electrodos de soldadura eléctrica, varillas de soldadura oxi-acetilénica, alambres tubulares u otros procedimientos, es posible:

- Recuperar piezas desgastadas o deterioradas.
- Reparar elementos de máquina.
- Proteger las superficies de las piezas o elementos sujetos a fuerte desgaste, prolongando su vida útil.
- Construir piezas con materiales más baratos, aplicando el recargue protector sólo en las superficies que requieren protección.

Por lo general, los recubrimientos protectores se emplean, cuando las piezas deben poseer una o varias de las propiedades siguientes:

- La abrasión es producida por fricción de la pieza con rocas, arena, cascajo, tierra o cualquier materia no metálica.
- Resistencia al rozamiento metálico, el cual es producido por la fricción de la pieza con la superficie metálica de otra pieza o elemento mecánico.
- Resistencia al impacto o choques bruscos e intempestivos.
- Resistencia a la oxidación.
- Resistencia a la corrosión causada por acción de sales, ácidos u otros elementos.

- Resistencia a calor elevado y variaciones de temperatura, entre otros.

Por supuesto, cualquiera de las piezas puede requerir varias de las propiedades indicadas, de manera que el material de recargue o recubrimiento protector deberá poseer las distintas cualidades necesarias.

El fin del recubrimiento duro en los martillos, es reponer el metal perdido en una pieza desgastada, seleccionado para ello, una aleación que reúna las propiedades mecánicas necesarias, para que el martillo presente mayor resistencia al desgaste en particular y se prolongue la vida útil del mismo. En la recuperación de martillos, se utiliza el recubrimiento de materiales a través de la soldadura, caracterizado en dos casos:

- Piezas rotas: en las piezas rotas se utilizan soldadura de unión.
- Piezas desgastadas: en las piezas desgastadas se utilizan soldaduras de revestimiento.

En la selección de recubrimientos protectores, es imprescindible conocer la dureza, el desgaste y los diferentes tipos de mecanismos que existen.

### **5.8.1. Dureza**

Se entiende por dureza de un material a la resistencia que opone el material a su deformación plástica permanente superficial por rayado o penetración. Siempre se cumple que la dureza de un material resulta inversamente proporcional a la huella que queda en su superficie al aplicarle una fuerza.



En este sentido, se puede definir también a la dureza de un material como aquella propiedad de la capa superficial del material de poder resistir toda deformación elástica, plástica o destrucción debido a la acción de esfuerzos de contacto locales originados por otro cuerpo (llamado indentador o penetrador), más duro, de determinada forma y dimensiones, el cual no sufre deformaciones residuales durante el contacto.

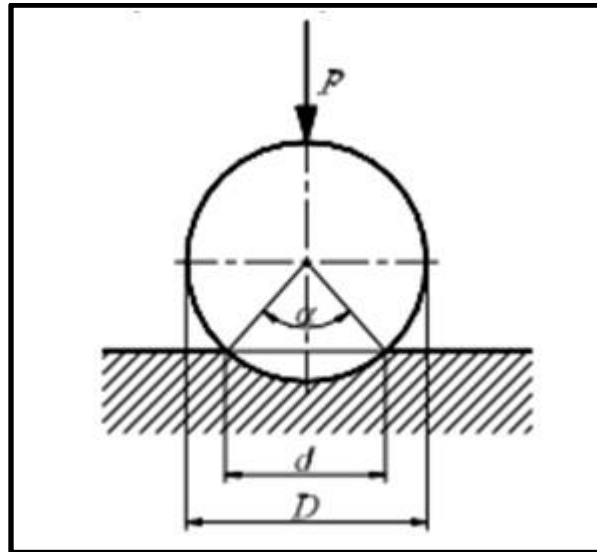
Es decir, se entiende por dureza a la propiedad que tienen los materiales en general de resistir la penetración de un indentador sometido bajo carga, de manera que la dureza representa la resistencia del material a la deformación plástica localizada en su superficie. Los métodos más comunes para medir la dureza están basados en pruebas de dureza por indentación.

Estas pruebas o ensayos de dureza generalmente son realizados imprimiendo una huella en la superficie de la muestra, la que está en reposo sobre la plataforma rígida, un marcador o indentador de geometría determinada, bajo una carga estática conocida, que se aplica directamente con un sistema de palanca. Los métodos comunes para pruebas de dureza por indentación son:

- Prueba de dureza de Brinell HB

El ensayo de dureza brinell consiste en presionar la superficie del material a ensayar con una bolilla de acero muy duro o carburo de tungsteno, produciéndose la impresión de un casquete esférico correspondiente a la porción de la esfera que penetra, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 27. Esquema de dureza de Rockwell HRC



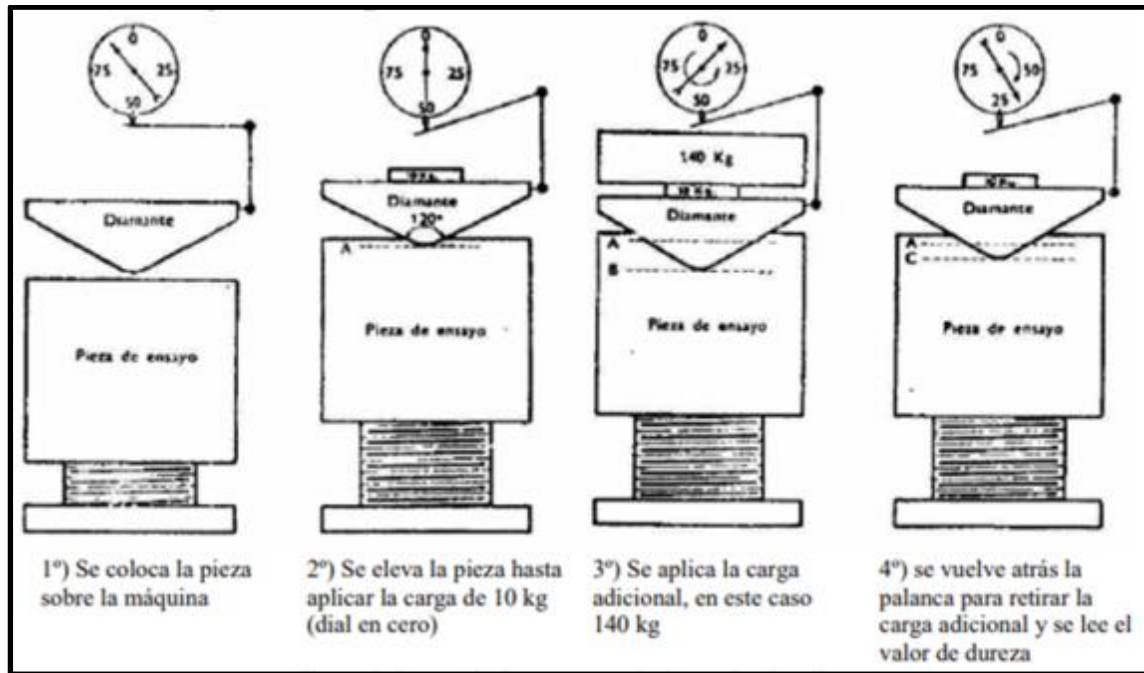
Fuente: HORWITZ, Henry. *Manual de soldadura*. p. 66.

- Prueba de dureza de Rockwell HRC

Al igual que en el ensayo Brinell, la dureza se determina en función del grado de penetración de la pieza a ensayar a causa de la acción del penetrador bajo una carga estática dada. Difiere del ensayo Brinell en que las cargas son menores y los penetradores más pequeños por lo que la impronta será menor y menos profunda.

Además, el ensayo Rockwell no requiere la utilización de formula alguna para la determinación de la dureza. Esta se obtiene directamente del dial indicador de la máquina ya que la misma está dada por el incremento de profundidad de penetración debido a la acción del penetrador, el cual puede ser una bolilla de acero o un cono de diamante.

Figura 28. Secuencia de ensayo de dureza Rockwell



Fuente: HORWITZ, Henry. *Manual de soldadura*. p. 66.

Muchos de los recubrimientos protectores poseen efectivamente una gran dureza; de allí la expresión recubrimiento duro. Este término se ha hecho muy común; sin embargo, no es correcta la expresión en todos los casos. Lo importante en una capa de recubrimiento es que tenga las propiedades necesarias, las cuales muchas veces no coinciden con valores de dureza particularmente elevados.

Figura 29. **Martillo con recubrimiento duro**



Fuente: elaboración propia.

La diferencia entre un martillo nuevo y uno desgastado, es mediante el peso entre ambos, o bien, a través de la diferencia entre sus dimensiones; en la imagen se observar un martillo recuperado de revestimiento duro; este tiene un peso de 52 libras y de ancho mide 7 pulgadas y 17 centímetros.

### **5.8.2. Desgaste**

El mecanismo de desgaste puede explicarse por la formación y posterior ruptura de uniones metálicas existentes entre dos superficies que están en contacto, ya que todas las superficies presentan algún grado de rugosidad.

- Factores que intervienen en el desgaste: la complejidad en el análisis del desgaste aumenta al considerar el número de factores necesarios para describirlo, que pueden enumerarse:

- Factores metalúrgicos: dureza, tenacidad, constitución y estructura, composición química.
- Factores operacionales: materiales en contacto, modo y tipo de carga, velocidad, temperatura, rugosidad de la superficie, distancia recorrida.
- Factores externos: elementos externos corrosión.
- Etapas del desgaste: cuando se pone en marcha piezas mecánicas que experimentan rozamiento, se presentan esquemáticamente tres etapas:
  - En una primera etapa denominada rodaje, la razón de desgaste es alta, pero disminuye en un breve lapso de tiempo. Este desgaste no compromete el funcionamiento de la pieza; sin embargo, obliga a tomar ciertas precauciones.
  - Un segundo período llamado marcha normal, representa la vida útil de la máquina. Durante este período el desgaste es débil o al menos constante.
  - Una tercera etapa llamada de envejecimiento, se caracteriza por una razón de desgaste creciente, debido a desgastes cada vez más frecuentes y más graves, hasta deteriorar parcial o totalmente la pieza.

### 5.8.3. Tipos de mecanismos

El desprendimiento de material en un componente mecánico puede variar notablemente, de muy intenso a despreciable. En cualquier caso, ello puede significar una pérdida de eficiencia y la inutilidad completa del sistema. Es muy importante dejar establecida la necesidad de emplear la máxima rigurosidad en el Análisis y Diagnóstico de los mecanismos de desgaste. Un diagnóstico errado sobre las causales del deterioro implicará una selección inapropiada del método de recuperación, no lográndose la maximización de vida útil deseada e incluso es posible, mediante una recomendación errónea, acelerar el desgaste en cuestión.

El desgaste en términos generales, es la pérdida de partículas metálicas de la superficie de una pieza por acción directa o por combinación de una serie de factores. El estudio de estos factores permite determinar el tipo de desgaste a que está sujeta la pieza. Entre estos factores están:

- Abrasión

Una pieza se desgasta por abrasión, cuando se encuentra en constante fricción con piedras, cascajo, arenilla, tierra, arena y otros materiales sólidos no metálicos. La abrasión produce erosión, raspado o cavitación de la pieza, lo que se traduce en un desgaste o deterioro de la misma.

Generalmente, los recubrimientos protectores por soldadura, que deben resistir el desgaste por abrasión, deben ser de una gran dureza, pero en muchos casos estos deben ser lo suficientemente tenaces para aumentar su resistencia a choques o impactos a que están sujetas ciertas piezas. Cuando un metal roza con otro metal, tarde o temprano sufre un desgaste debido a que

uno de los metales es más duro que el otro. La presión del rozamiento y el calentamiento subsiguiente siempre producen desgaste y esta abrasión.

- Rozamiento metálico

Cuando un metal roza con otro metal, tarde o temprano sufre un desgaste debido a que uno de los metales es más duro que el otro. La presión del rozamiento y el calentamiento subsiguiente siempre producen desgaste y este será mayor, si es que la superficie no se protege con capas de recargue o recubrimiento protector con un electrodo apropiado.

- Corrosión

Es el efecto que sufren las piezas cuando son atacadas por líquidos o sólidos que actúan en forma química, como es el caso de ataques por sales, ácidos u otros agentes químicos. La corrosión es un problema grave, que cada año causa grandes daños y perjuicios económicos a las empresas que usan o producen productos químicos, como son la industria del jebe, cueros, textiles, fertilizantes, papeles, alimentos, petróleo y la misma industria química.

Las causas de la corrosión son tan numerosas, que primero habrá que determinar el uso final de la pieza, antes de poder seleccionar el recubrimiento apropiado que debe proteger la pieza, los electrodos de acero inoxidable y aleaciones similares se están utilizando en forma creciente para proteger las piezas contra la corrosión.

- Cavitación

Es el desgaste que sufre el metal por acción de líquidos que están en movimiento. Este movimiento no siempre tiene un flujo laminar sino la mayoría de veces tiende a tener un flujo turbulento que, al formar remolinos puede afectar el metal produciendo pequeñas cavernas. Cuando éstas se hayan formado, la turbulencia aumenta y también aumentará la severidad del desgaste en la parte interna de la pieza.

- Choques e impacto

Los golpes súbitos y violentos causan rotura, agrietamiento o desgaste de las piezas. El desgaste es resultado principalmente del efecto de molido que ejerce el choque o impacto sobre la superficie de la pieza. En el trabajo de las canteras es muy común encontrar máquinas y piezas que requieren protección contra el impacto; por ejemplo, en el caso de un martillo de trituradora, donde el CITOMANGAN ha probado ser el producto más adecuado no solo para resistir a golpes o impactos, también, por depositar un metal suficientemente duro para resistir el desgaste abrasivo.

## **5.9. Sistemas de aleación resistentes al desgaste**

En la mayoría de los trabajos se presentan más de uno de los tipos de desgaste y, por tal motivo, la selección correcta de un electrodo de recargue o recubrimiento protector debe hacerse con criterio de la importancia e influencia de cada factor en el proceso de desgaste o deterioro de la pieza.



- Acero al manganeso tipo Hadfield

Los aceros Hadfield son sometidos a tratamientos térmicos de endurecimiento, los cuales consisten en calentar a una temperatura lo suficientemente alta para disolver los carburos, seguido de un enfriamiento rápido en agua agitada a temperatura ambiente para retener una mayor cantidad de carbono en la solución sólida metaestable.

Es decir, que los aceros Hadfield están caracterizados por sus propiedades mecánicas: alta resistencia a la tracción y a la compresión, elevada ductilidad y excelente resistencia al desgaste. Este material es el único que combina alta resistencia y ductilidad con gran capacidad de endurecimiento por deformación y, usualmente, buena resistencia al desgaste.

Son aleaciones no magnéticas extremadamente tenaces en las cuales la transformación martensítica de endurecimiento ha sido suprimida por una combinación de alto contenido de manganeso y carbono, y la precipitación de carburos por una alta velocidad de enfriamiento desde temperaturas de austenización.

- Aleación de revestimiento duro de alto cromo, tiene las siguientes características:
  - Depósito de acero al manganeso austenítico.
  - Tenacidad sobresaliente y su alto nivel de endurecimiento por impacto lo hacen recomendable para el relleno y recuperación de piezas de acero manganeso austenítico exigidas en trabajo.

- Apropriado para acero carbono y de baja aleación, o como capa base de aleaciones base carburos de cromo.
- Aplicaciones típicas: rodillos trituradores, mandíbulas chancadoras, conos chancadores, cruce de rieles entre otros.
- Recubrimientos de piezas sometidas a fuerte impacto.
- Mecanizado: difícil, no puede ser cortado por sistema oxigas.
- Depósito no magnético.

En el mismo orden de ideas, es importante mencionar que el cromo: es uno de los más utilizados en la fabricación de aceros aleados. Se usa en aceros de construcción, en los de herramientas y en los inoxidable. Ya que aumenta la dureza y la resistencia a la tracción y la tenacidad de los aceros, mejora la templabilidad, aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidable. Se utiliza en revestimientos embellecedores o recubrimientos duros de gran resistencia al desgaste, como émbolos, ejes, entre otros.

Las aleaciones de cromo pueden ser usados para resistencia al desgaste en servicios donde la precisión y calidad son muy importantes, no obstante la dureza y el volumen de carburos son muy significativos. Los depósitos con oxigas se espera que tengan una dureza de 55 HRc, lo cual es comparable con la dureza de los aceros austeníticos al cromo. Los depósitos por soldadura de arco son más favorables.

Varias aleaciones se ablandan permanentemente al ser calentadas a temperaturas altas. Estas aleaciones son la excepción. Su dureza puede

disminuir al calentarse, pero ellas regresan a su dureza original al enfriarse. Es decir son inmunes a la temperatura.

La resistencia y dureza a elevadas temperaturas son propiedades sobresalientes de este grupo. Las aleaciones de cromo son favorables para el desgaste por la habilidad para obtener gran pulimento y bajos coeficientes de fricción. Ninguno de estos depósitos son fácilmente maquinables y las dificultades aumentan con el incremento del contenido de carbono. Sin embargo, estos depósitos son regularmente maquinables, con herramientas especiales. En la siguiente imagen se observa la revisión de geometría del martillo una vez reparado con acero al manganeso tipo Hatfield.

Figura 30. **Martillo reparado con acero al manganeso tipo Hatfield**



Fuente: elaboración propia.

## 6. CONDICIONES QUE ASEGURAN LA CALIDAD DE LOS RECUBRIMIENTOS DUROS

### 6.1. Defectos comunes en aplicación de recubrimiento

La discontinuidad en la soldadura es “cualquier aspecto o detalle geométrico, metalúrgico o mecánico que no se encuentre previsto en el diseño original del componente que por su magnitud o características no afecte la performance ni la vida útil del componente”<sup>2</sup>

Por lo tanto, el defecto es “cualquier aspecto o detalle geométrico, metalúrgico o mecánico que no se encuentre previsto en el diseño original del componente que por su magnitud o características pueda afectar la performance o la vida útil del componente”<sup>3</sup>

En general, todas las soldaduras sufren defectos. En pocas palabras no existe soldadura perfecta, ya que cada una de ellas presenta discontinuidades diferentes. Existen criterios de aceptación que establecen límites entre la aceptación o el rechazo de una soldadura, y están regulados por normas internacionales.

Algunas de las discontinuidades que se dan en la soldadura pueden ser: las fisuras, sobre-monta excesiva, porosidad, cráteres de soldadura, concavidad, rechupe de raíz, exceso de penetración, socavado lateral o mordedura, falta de alineación, picadura de arco, solape, oxidación, falta de

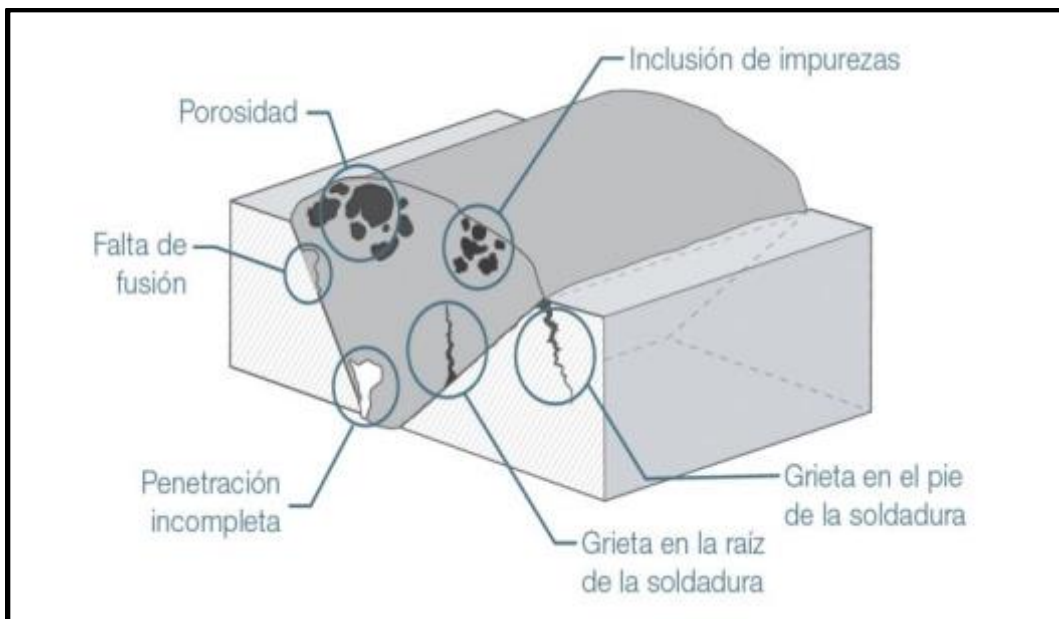
---

<sup>2</sup> BONIFACE, Rossi. *La soldadura y sus aplicaciones: manual para el estudio de la técnica y prácticas industriales*. p. 215.

<sup>3</sup> *Ibíd.*

penetración, falta de fusión, inclusiones de escoria, escorias alineadas e inclusiones de tungsteno.

Figura 31. Defectos comunes en aplicación de recubrimiento



Fuente: BONIFACE, Rossi. *La soldadura y sus aplicaciones: manual para el estudio de la técnica y prácticas industriales*. p. 215.

Antes de especificar en los defectos, de las cavidades internas y fusión completa en la soldadura, es preciso mencionar las fisuras ya que son de algunos defectos más comunes, además se debe tener presente que también existen medidas correctivas o de mejora para mencionados defectos, esto se conoce como acción correctiva, y se puede definir como la manera de corregir algún defecto, con el objetivo de lograr que la soldadura pueda ser de utilizada y prestar el servicio correcto.

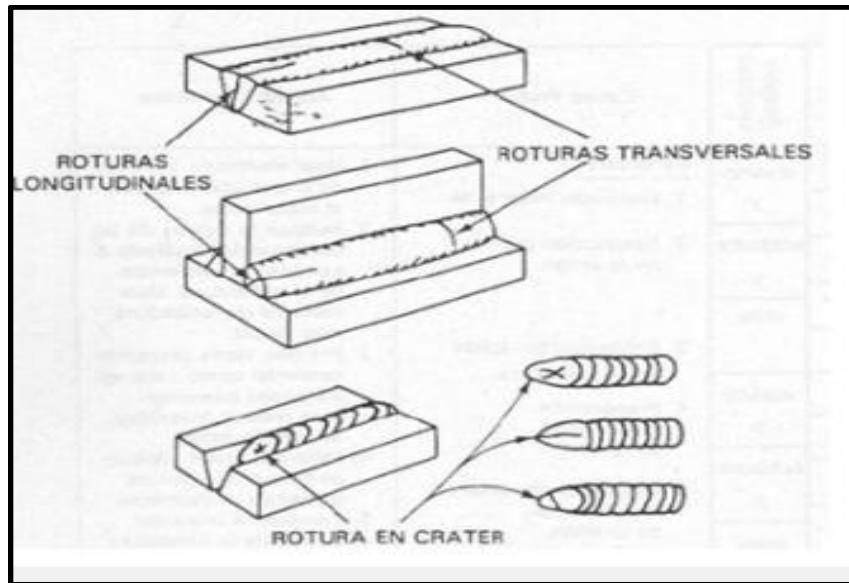
- Fracturas

Las fracturas son la primera categoría de defectos de soldadura. Una fractura es una discontinuidad del tipo de fractura caracterizada por unos bordes agudos y una gran relación entre longitud y anchura a desplazamiento de abertura.

Se considera peligroso encontrar fracturas en soldaduras puesto que generan una grave reducción en la resistencia además se puede presentar una propagación de la fractura y generar una falla mucho más severa. Las fracturas o también llamadas rupturas pueden clasificarse como:

- Fracturas superficiales: son las que se pueden observar sobre la superficie de la soldadura por medio de la inspección visual, las fracturas pueden ser longitudinales, transversales o en cráter. Este tipo de soldadura se presenta de manera transversal, longitudinal, en cráter o en los bordes.
- Fracturas Internas o subsuperficiales: se presentan bajo la soldadura, incluso bajo la zona afectada por el calor, muchas veces son denominadas bajo el cordón.

Figura 32. Tipos de fracturas superficiales



Fuente: BONIFACE, Rossi. *La soldadura y sus aplicaciones: manual para el estudio de la técnica y prácticas industriales.* p. 217.

Varias veces, estas fracturas pueden ser muy pequeñas para ser detectadas por la simple inspección visual, pero aun así no dejan de presentar un factor de riesgo; pues puede continuar expandiéndose y generar una falla del material, a este tipo de fracturas pequeñas se les denomina fisuras o si son extremadamente pequeñas micro fisuras.

Tabla IX. **Causas posibles medidas correctivas para defectos de fractura y grietas**

<b>A. GRIETAS EN LA SOLDADURA</b>	
<b>CAUSA</b>	<b>SOLUCION</b>
Alta rigidez en la junta	Precalentamiento: Usar golpeteo; cambie la sucesión de la soldadura por retroceso o aumente la sección transversal del cordón
Soldadura defectuosa	Vea porosidades o inclusiones
Electrodos defectuosos (excentricidad, humedad en el revestimiento, núcleo de alambre pobre)	Cambie electrodos, controle la humedad por buen almacenaje
Dilución pobre	Reduzca la separación de raíz
Cordón de escasa profundidad, a ancho	Aumenta la sección transversal profundidad o ancho, del cordón, cambie el tipo de electrodo
Excesivo carbón o aleación tomado del metal de base	Reduzca penetración bajando la corriente y la velocidad de avance, cambie el tipo de electrodo
Distorsión angular, causando tensión a la raíz del cordón	Compense la soldadura en ambos lados, use martilleo o golpeteo precalentamiento
Excesivo azufre en el metal base	Use EXX15 16 electrodos
Grietas en el cráter	Rellene el cráter. Retroceda si es necesario retire
<b>B. GRIETAS EN EL METAL BASE</b>	
<b>CAUSA</b>	<b>SOLUCION</b>
Hidrógeno en la atmósfera del arco	Use condiciones libres de hidrógeno. Use EXX15 16; arco sumergido o gas inerte o proceso de arco protegido; precalentamiento después de soldado haga en envejecimiento o recocido
Alta Dureza (aceros)	Precalentamiento, aumente el calor absorbido en la soldadura, postcalentamiento sin enfriar, después de soldada, suele con electrodo austenítico
Alta resistencia, con baja ductilidad	Use metal recocido o normal
Alta temperatura de transición.	Prioridadde tratamiento térmico para soldar dentro de sus condiciones de dureza o diferentes aleaciones.
Fases frágiles	Tratamiento térmico antes desoldar para poner las fases frágiles en solución.
Excesivo esfuerzo.	Rediseñe, cambie la sucesión o use recocidos intermedios.

Fuente: BONIFACE, Rossi. *La soldadura y sus aplicaciones: manual para el estudio de la técnica y prácticas industriales.* p. 220.



### **6.1.1. Cavidades internas entre capas**

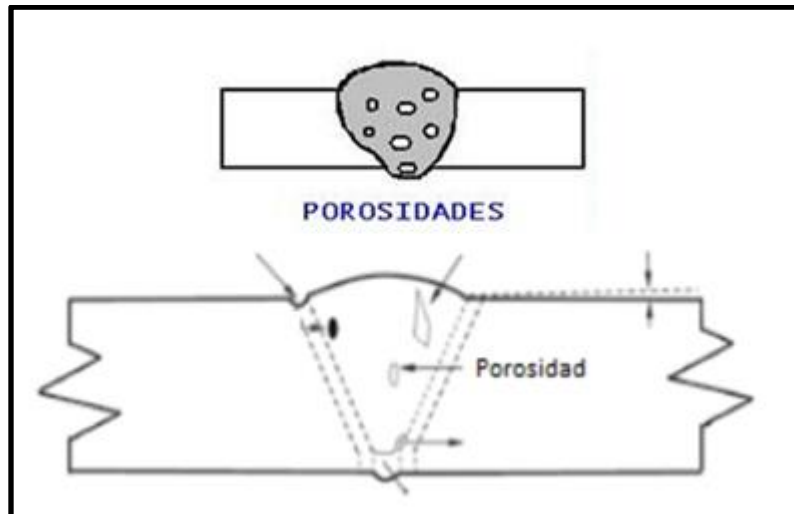
Estas incluyen diversos efectos de porosidad y contracción. La porosidad consiste en pequeños defectos en el metal de la soldadura, formados por gases atrapados durante la solidificación de las capas de recubrimiento.

Los defectos pueden tener forma esférica (huecos en forma de burbuja) o alargada (huecos en forma de gusano). Los defectos de contracción son cavidades formadas por el encogimiento durante la solidificación. Estos dos tipos de defectos tipo cavidad son semejantes a los defectos que se encuentran en la fundición y ponen de manifiesto la similitud entre esta y la soldadura.

La porosidad se usa para describir los huecos globulares, libre de todo material sólido, que se encuentra con frecuencia en los cordones de soldadura. En realidad, los huecos son una forma de inclusión que resulta de las reacciones químicas que tienen lugar durante la aplicación de la soldadura. Difieren de las inclusiones de escoria en que contienen gases y no materia sólida.

Los gases que forman los huecos se derivan de los gases liberados por el enfriamiento del metal de la soldadura, como consecuencia de la reducción de solubilidad al descender la temperatura y de las reacciones químicas que tienen lugar dentro de la propia soldadura.

Figura 33. **Porosidades**



Fuente: BONIFACE, Rossi. *La soldadura y sus aplicaciones: manual para el estudio de la técnica y prácticas industriales.* p. 222.

Existen varias clases de porosidad, se mencionarán algunas:

- Porosidad dispersa: esta uniformemente distribuida a través del metal duro.
- Porosidad agrupada: es un arreglo localizado que tiene una distribución geométrica al azar.
- Porosidad alargada: es aquella porosidad cuya longitud es mayor a su ancho y se ubica aproximadamente paralelas al eje de la soldadura. Se puede formar en el interior o en la superficie del metal de soldadura.
- Porosidad superficial, en el cráter y de gusano: es fácilmente observable por medio de la inspección visual.

Es importante resaltar que la porosidad no es un defecto tan serio como las fracturas, esto se debe principalmente a que las cavidades de porosidad presentan extremos redondos y no se propagan como sucede con las fracturas.

Tabla X. **Causas y soluciones de porosidad**

<b>CAUSAS</b>	<b>SOLUCIONES</b>
1.- Excesivo H <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> o humedad en la atmósfera	1.- Cambiar el electrodo a E XX15 16 o usar proceso de gas. Bajo hidrógeno MIG-TIG (arco sumergido)
2.- Alta velocidad de enfriamiento en la soldadura	2.- Aumentar el calor absorbido, precalentamiento
3.- Mucho Azufre en el metal base	3.- Usar E XX15 16 acero bajo en azufre
4.- Aceite, pintura o herrumbre en el acero	4.- Limpiar la superficie de las juntas
5.- Longitud del arco inadecuada corriente o manipulación	5.- Usar arco adecuado, controlar la técnica de soldar
6.- Excesiva humedad en el electrodo o en la junta	6.- Usar electrodos y materiales secos
7.- Revestimientos galvanizados	7.- Usar E-6010 para remover el Zn

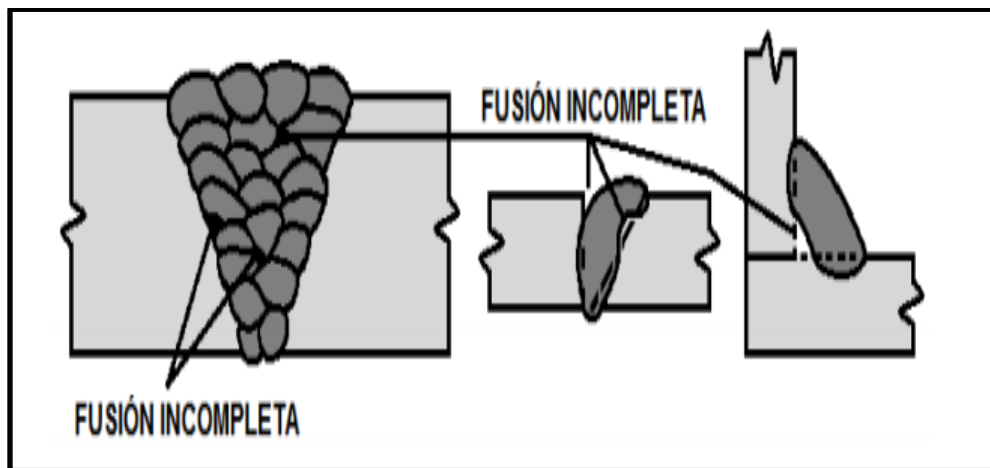
Fuente: BONIFACE, Rossi. *La soldadura y sus aplicaciones: manual para el estudio de la técnica y prácticas industriales.* p. 224.

### 6.1.2. Fusión incompleta

Un defecto conocido como carencia de fusión es simplemente una gota de soldadura en la cual no tuvo la fusión completa sobre la capa de la sección transversal de la que se recubre la soldadura. Una carencia de penetración significa que la fusión no, penetró lo suficiente en la superficie del recubrimiento en relación con las normas especificadas.

Es decir la soldadura depositada no llena completamente la preparación de la unión o que hay un espacio entre los cordones o pasos, o un espacio en la raíz de la unión. Uno de los principales problemas es la producción de esfuerzos y tensiones a raíz de este defecto. En la siguiente figura se muestra un cordón con fusión incompleta y un esquema del defecto.

Figura 34. **Fusión incompleta**



Fuente: BONIFACE, Rossi. *La soldadura y sus aplicaciones: manual para el estudio de la técnica y prácticas industriales.* p. 226.

La fusión incompleta es una discontinuidad bidimensional de la soldadura que se debe a la falta de fusión simultánea de los bordes del chaflán del metal base y el metal de aporte o entre los cordones de la soldadura, también es causada por un exceso de metal de soldadura en el pie de la soldadura dentro de los límites de fusión; esta condición produce muescas que son perjudiciales, debido a la concentración de esfuerzos bajo cargas. Debido a su linealidad y a su condición de extremadamente filosa, la falta de fusión representa una discontinuidad muy peligrosa en la soldadura. Puede ocurrir en distintas ubicaciones dentro de la zona de soldadura.

Este defecto puede ser producido por interposiciones, entre el metal base y el metal de aporte, de materia extraña que no llega a disolverse (óxidos), preparación inapropiada del metal base, mal diseño de la junta, por la acción del fundente o en algunos casos por la inclinación incorrecta del electrodo, el insuficiente aporte de calor de soldadura, falta de acceso a todas las superficies o ambas, durante el proceso de soldadura.

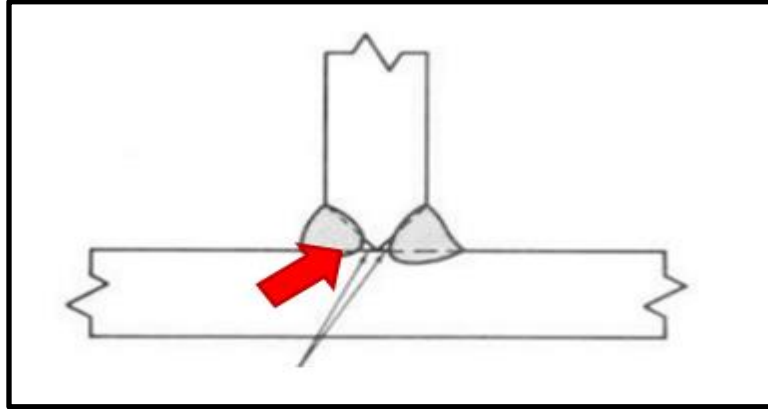
- Penetración incompleta

Esta expresión se usa para describir la situación en que el metal depositado y el metal base no se funden en forma integral en la raíz de la soldadura. Puede ser ocasionada porque la cara de la raíz de la soldadura de ranura no alcance la temperatura de fusión a toda su altura, o porque el metal de la soldadura no llegue a la raíz de una soldadura de filete, y deje el hueco ocasionado por el puenteo del metal de la soldadura desde un miembro al otro.

Aunque la penetración incompleta puede deberse en unos cuantos casos a la falta de disolución de los óxidos e impurezas de la superficie, las condiciones de transmisión de calor que existen en la junta son una fuente más frecuente de este defecto. En la figura 35 se observa esquema de juntas con penetración incompleta.

La penetración incompleta es indeseable, particularmente si la raíz de la soldadura está sujeta ya sea a tensión directa o a esfuerzos flexionantes. El área que no se funde permite concentraciones de esfuerzos que pueden resultar en fallas sin deformación apreciable.

Figura 35. **Penetración incompleta**



Fuente: BONIFACE, Rossi. *La soldadura y sus aplicaciones: manual para el estudio de la técnica y prácticas industriales*. p. 228.

Los defectos que presenta la soldadura son varios, incluso algunos más a los mencionados, se presentan de distintas maneras y cada uno es generado por distintas causas, estos además generan distintos problemas en las piezas donde son soldadas; no obstante, pueden identificarse de distintas maneras, por eso es tan importante el profundo conocimiento de estos problemas y evaluarlos profesionalmente y hacer un control de calidad a la soldadura para evitar problemas a futuro y que se garantice el correcto funcionamiento de la soldadura.

## **6.2. Aplicaciones de los recubrimientos duro en la industria**

Es relevante, recordar que los tipos de desgaste aparecen solos o combinados, por lo tanto, el electrodo que se elija para el revestimiento protector, debe resistir a los distintos tipos de desgaste, al que están sometidos los martillos del molino. Una vez seleccionado el revestimiento más adecuado se identifica el tipo de desgaste y el metal base. Para proceder a la aplicación de recubrimientos duros en las superficies deterioradas, este consiste en

depositar la aleación de revestimiento duro de alto cromo, sobre la pieza a reparar, por alguno de los distintos métodos, para formar una superficie que resista los fenómenos de desgaste anteriores o alguna combinación de ellos.

La selección de una la aleación de revestimiento duro de alto cromo en la superficie metálica, se basa en los ahorros y ventajas que se tienen por la aplicación de la misma. Estos ahorros y ventajas proceden del aumento de la producción, además del uso de un menor inventario de piezas de repuesto y la reducción de paros no programados.

La aplicación de recubrimiento duro en superficies, es porque los materiales de recubrimiento representan un elemento menos importante en el costo total, porque los salarios, la producción perdida en los paros no programados y las tasas de sobre costo administrativo son más importantes.

El recubrimiento duro, es la aplicación del material de aleación especial sobre la pieza metálica a través de la soldadura MIG/MAG, con el objetivo de mejorar la resistencia al desgaste y recuperar las dimensiones apropiadas. La propiedad que se pretende mejorar es la resistencia al desgaste producto de la abrasión, impacto, adhesión del metal-metal, el calor, corrosión o una combinación de cualquiera de estos elementos.

En referencia a las aleaciones, existe una amplia gama de estas de recubrimiento apropiadas para cualquier pieza metálica. Es importante mencionar que algunas aleaciones son duras, otras son blandas con partículas dispersas de alta resistencia a la abrasión. Ciertas aleaciones son diseñadas para llevar una pieza hasta una dimensión determinada, en tanto que otras están diseñadas para obtener una capa antidesgaste que proteja la superficie de trabajo. En este caso se utilizará la aleación de revestimiento duro de alto cromo en los martillos del molino.

La empresa utiliza productos para recubrimiento duro por motivos relevantes como:

- Costos reducidos: la aplicación del material de recubrimiento a una pieza metálica desgastada, para proporcionar una condición similar a la de una pieza nueva, constituye generalmente entre un 25-75 % del costo de un martillo nuevo.
- Prolonga la vida útil del molino: el recubrimiento extiende la vida útil de la pieza entre un 30 y un 300 %, comparada con una pieza no revestida.
- Menor pérdida de inactividad: es decir, que gracias a la mayor duración de las piezas, se necesitan menos interrupciones en la producción menos paros no programados.
- Menor inventario de repuestos: no es necesario mantener un gran inventario de repuestos cuando esta la alternativa de reconstruir los martillos devolviéndoles las dimensiones originales.

En el uso de recubrimiento duro, hay dos áreas básicas en las que se utiliza:

- Reconstrucción de las piezas metálicas desgastadas, como se mencionó anteriormente, este proceso le devuelve las dimensiones originales. Esto se logra a través de la aplicación de capas de relleno o bien de relleno y de recubrimiento antidesgaste. En algunos casos, las propiedades de la pieza reconstruida son por lo general superiores a las de la pieza original. Además las piezas metálicas que permanecen en buen estado pueden volver a ser recuperadas una y otra vez, si se siguen los procedimientos correctos.



- Protección contra el desgaste de piezas metálicas nuevas: quiere decir, que la capa de recubrimiento antidesgaste, se utiliza tanto en piezas nuevas como en las usadas, en aquellas zonas donde las piezas son más sensibles al desgaste. La capa final de alta aleación brinda una resistencia superior al desgaste en comparación con la resistencia del material base original. Por lo general, esto duplica o triplica la vida útil del componente comparado con una pieza que no ha sido recubierta. En ciertos casos el recubrimiento aumenta el valor del equipo, pero esto se compensa empleando materiales base de menor costo.

### **6.3. Procedimiento para una correcta aplicación de revestimientos duros**

Para una correcta aplicación de revestimiento duro, se debe tener en cuenta la preparación superficial y para es imprescindible limpiar la zona de soldadura de suciedad, óxidos grasas, aceites y otros contaminantes, también remover el material corroído, deformado o fatigado, se deben reparar la grietas con aleaciones compatibles con el metal base y en lo posible tratar de soldar en posición plana.

- Preparación antes de la aplicación, los factores críticos que se deben tomar en cuenta para una aplicación exitosa son los siguientes:
  - Apropriada selección de productos para remover
  - Condiciones de diseño estructural
  - Qué tipo de superficie se va a remover
  - Ambiente (humedad, temperatura)
  - Métodos de finalización

Ya que el propósito de la preparación de la superficie es asegurar el éxito de adhesión de la resina al metal. Es por eso que es bien importante la preparación de la superficie. Dependiendo lo que se requiera limpiar de la superficie que se va a restaurar o proteger, se hará una selección adecuada del abrasivo.

La aplicación de recubrimiento duro en las superficies es la más eficiente ya que se usa con el propósito de limpiar o preparar una variedad de superficies, usando varios tipos de materiales abrasivos. Esta limpieza se hace por medio de presión, que remueve óxido, y otras partículas extrañas que se adhieren a los metales además de que es bien confiable también por el tamaño de las superficies, la dureza, la densidad, y la figura de las mismas.

- Procedimiento

El proceso de soldadura inicia con el cebado del arco, el cual consiste en tocar la pieza con el extremo del electrodo libre de recubrimiento, cerrándose el circuito durante un corto tiempo.

El paso de corriente genera el calentamiento del punto de contacto y de las zonas inmediatas por efecto Joule, particularmente el extremo del electrodo. En el momento de separar el extremo del electrodo de la pieza, el metal del electrodo produce una fuerte emisión de electrones que se aceleran por la presión y chocan con los electrones de otros átomos del medio gaseoso, que genera una atmosfera ionizada, que permite el paso de corriente a través del aire.

Los electrones que van del electrodo al ánodo provocan la fusión parcial del electrodo y producen así el salto del arco. La energía eléctrica es convertida

en calor, generando una temperatura en el arco alrededor de 5 000 °C, que causa la fusión y la unión de los metales. La corriente que se emplea en este sistema puede ser continua o alterna, utilizándose en los mejores trabajos la corriente continua, debido a que la energía es más constante, con lo que se puede generar un arco más estable y con la polaridad exacta del proceso.

La corriente alterna permite efectuar operaciones de soldadura a bajo costo, en posición horizontal y preferentemente en materiales no ferrosos, además, se prefiere este tipo de corriente cuando se suelda aluminio y aceros inoxidables. A pesar de lo relativamente lento del proceso, por el recambio de electrodos y la remoción de escoria, se mantiene como una de las técnicas más flexibles, simples y son notables sus ventajas en áreas de acceso restringido, además el equipo necesario para realizar las soldaduras es más sencillo, transportable y barato que los demás equipos de soldadura; por lo anterior, los otros procesos de soldadura por arco eléctrico no han podido desplazar del mercado a la soldadura con electrodo revestido.

Al soldar, los gases provenientes del metal caliente y del revestimiento, ejercen un efecto de chorro sobre el núcleo de metal fundido, estos gases empujan el metal fundido, en el electrodo, hacia fuera en dirección de la pieza de trabajo. El chorro no es completamente uniforme, por lo que es posible que los gases se formen más rápidamente de un lado que del otro.

Por lo tanto, los efectos del chorro actúan sobre el metal en diferentes direcciones. Es este carácter aleatorio de la transferencia, lo que hace que el cordón sea ancho y que se produzcan salpicaduras. Sin embargo, si se mantiene el electrodo cerca de la pieza y se desliza sobre ella, el chorro de la punta sirve para dirigir las fuerzas del arco y éste llegará a penetrar mejor con una transferencia de metal más uniforme.

Puesto que el revestimiento del electrodo aísla eléctricamente la varilla metálica del núcleo, no hay peligro de hacer un cortocircuito contra otras partes metálicas cercanas y apagar el arco. Además, es importante mencionar que el soldador puede trabajar lejos de la fuente de potencia sin la necesidad de utilizar gases comprimidos como protección.

- Propiedades específicas que debe poseer el cordón de soldadura

Las propiedades específicas, son precisamente las propiedades mecánicas que debe tener el metal depositado. Es importante, que esas propiedades mecánicas sean similares o mejores que las del metal base o pieza, pero en otros trabajos no existen mayores exigencias, que busca únicamente una buena unión de las piezas.

Algunas de las propiedades, que se busca obtener en el recubrimiento duro son:

- Resistencia a la tracción.
- Elongación.
- Tenacidad.
- Resistencia al impacto o golpes.
- Maquinabilidad, es decir, la facilidad de trabajarse en torno al martillo.
- Resistencia al desgaste por abrasión o rozamiento metálico entre otros.



## **7. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA RECUPERACIÓN DE MARTILLOS DE MOLIENDA DE ARCILLA**

### **7.1. Inspección de los martillos**

El objetivo de la inspección de soldadura en los martillos es determinar que las partes soldadas satisfacen los requisitos de calidad y de integridad mecánica establecidos en el diseño original y que estén basados en las condiciones de servicio establecidos por el código, norma o especificación aplicable.

Por lo mismo, al inspeccionar se debe estar familiarizado con los distintos procesos de soldadura MIG/MAG, también, con los materiales a unir y de aporte involucrados; el propósito y las limitaciones de los métodos de pruebas empleados y la calificación de procedimientos y personal de soldadura; también, se debe ser capaz de leer e interpretar dibujos, planos, preparar y mantener registros, realizar reportes y juicios responsables. Para que el trabajo de inspección resulte satisfactorio, se deben realizar las actividades de manera que estas sean consistentes con los requisitos y principios técnicos y éticos aplicables.

Cada proceso de soldadura debe trabajarse correctamente; es decir, que debe cumplir eficientemente su función, ejecutándose al menor costo posible, esto incluye la economía en el tiempo de ejecución de la soldadura y el material base, entre otros.

El trabajo de recuperación de martillos requiere no únicamente de saber conocer los procedimientos correctos; también, saber inspeccionar las juntas soldadas; por lo tanto, el soldador debe ser capaz de reconocer si hay fallas, defectos, además de identificar las causas y soluciones a estos.

Como se mencionó anteriormente la inspección debe realizarse antes, durante y al final de la soldadura. Cabe mencionar algunos aspectos en general que se deben verificar:

- Inspección antes del soldeo: la inspección comienza con el examen de material previo a la fabricación, ya que esta práctica puede eliminar condiciones que tienden a causar defectos de soldadura. Costras, fisuras, incrustaciones y otras condiciones superficiales de riesgo pueden ser detectadas en el examen visual. Es imprescindible tomar en cuenta las siguientes condiciones de acuerdo a las especificaciones aplicables:
  - Verificar la calibración del equipo a utilizar
  - Verificar almacenamiento de aportes
  - Verificar temperatura de precalentado
  - Verificar materiales base y los que se usaran de aporte
  - Verificar la preparación a utilizar para soldar
  
- Inspección durante el soldeo: durante la inspección visual se chequean detalles del trabajo mientras la fabricación se encuentra en progreso, tales como:
  - Verificación el amperaje
  - Verificación de limpieza entre pases
  - Verificación del voltaje

- Verificación del flujo de gas
- Verificación de la temperatura entre pases

En esta etapa de inspección durante el soldeo, es imprescindible, que el soldador este familiarizado con todos los elementos involucrados en la especificación de procedimiento de soldadura calificada, tal y como se mencionó anteriormente. Esto debe ser revisado con particular cuidado, esencialmente, durante las primeras etapas de la producción, además debe verificarse el cumplimiento con todos los detalles del procedimiento.

Por lo tanto, la primera capa, o pase de raíz, es la más importante desde el punto de vista de la calidad final de la soldadura. Debido a la geometría de la junta, el volumen relativamente grande de metal de aporte con respecto al volumen del metal de soldadura del pase de raíz.

Durante este proceso, existe una tendencia a que queden atrapadas escorias y gases que se resisten a su remoción en los siguientes pasos. Adicionalmente, al material base este durante el proceso es susceptible al agrietamiento. Las grietas no solamente pueden permanecer, sino que pueden extenderse a capas subsiguientes.

La inspección de este paso debe ser cuidadosa. La inspección del paso de raíz ofrece otra oportunidad de inspeccionar el recubrimiento duro, puesto que esta tiende a abrirse debido a los efectos del calor incidente sobre la operación de soldadura.

- Inspección después del soldeo: dentro de esta actividad se realiza una observación profunda y minuciosa, la inspección de los martillos se lleva a cabo por dos medios:



- Por medio de inspección visual

Como se mencionó anteriormente, esta es una técnica que requiere de una gran cantidad de información acerca de las características de la pieza a ser examinada, para lograr una interpretación acertada de las posibles indicaciones. Está comprobado que cuando se aplica correctamente como inspección preventiva, detecta problemas que pudieran ser mayores en los pasos subsecuentes de producción o durante el servicio de la pieza.

Es importante, la experiencia del soldador a la hora de realizar la inspección visual, algunas personas han desarrollado el ojo entrenado que es alguien que ha aprendido a ver las cosas detalladamente. Al principio todos asumen que es fácil adquirir esta habilidad; no obstante, requiere de ardua preparación y experiencia.

Es sumamente relevante que los inspectores, o soldadores que realizan la inspección tomen en cuenta que no se puede ver todo tan sólo con la observación directa y que en algunas ocasiones es necesario saber leer planos y dibujos técnicos; o bien, saber emplear diferentes instrumentos que pueden ser equipos de metrología dimensional o de observación directa; ya que actualmente existe una amplia variedad de instrumentos para ayudar a la inspección visual y que son:

- Lentes de aumento o lupas: normalmente tienen aumentos de 5x y de 10x, como máximo para los estudios llamados macroscópicos. Sus ventajas son tener un costo bajo y que abarcan una amplia área de inspección.

- Sistemas de interferencia cromática o con luz polarizada: consisten en emplear luz polarizada sobre una superficie reflejante y por medio de los patrones cromáticos formados son determinadas las zonas con discontinuidades, como en el caso de la inspección de porcelanas o recubrimientos vidriados.
- Endoscopios (Boroscopios): este sistema ha sido ampliamente difundido en las nuevas técnicas de Inspección Visual, principalmente, porque permiten la observación del interior de una parte o componente sin desarmar el equipo.

Tabla XI. **Hoja de inspección de defectos de soldadura**

<b>Empresa de azulejos</b>	
<b>Hoja de inspección</b>	
Revisor:	Hora:
Hoja:	Reporte núm.
<b>Defectos de soldadura</b>	
<b>Parámetros:</b>	<b>Descripción:</b>
Cavidades internas entre capas	
Fusión incompleta	
Fracturas	
Penetración incompleta	
Comentarios	
Firma	

Fuente: elaboración propia.

La inspección visual de los martillos, es por medio de la producción, la baja en la molienda es una medida de corroborar el rendimiento de los martillos, en el momento en donde la molienda no está triturada de modo correcto y el tiempo de molienda es mayor son los dos indicadores que los martillos ya no están cumpliendo con su función de manera óptima, quiere decir que los martillos requieren cambio. En la siguiente tabla se muestra la hoja de control donde se especificarán los indicadores de inspección identificados.

**Tabla XII. Hoja de inspección visual**

Empresa de azulejos					
Hoja de inspección visual					
Revisor:	Hora:		Modelo:		
Hoja:	Reporte núm.		Cantidad:		
Departamento:			Proceso:		
Indicadores					
Soldadura núm.	Observación de producción	Aceptable	Reparar	Deformidad	Profundidad
Comentarios					
Firma					

Fuente: elaboración propia.

- Por medio de la geometría de los martillos

Las inspecciones de geometría son utilizadas para detectar y medir la deformación de la soldadura y miden los cambios de su geometría, adicionalmente, la herramienta generalmente está equipada con un odómetro que mide la distancia que la herramienta ha recorrido.

Este tipo de herramientas pueden detectar y localizar con precisión soldaduras. Dentro de este tipo de herramientas se encuentran:

- Herramienta de calibración (*caliper*): utiliza un set de dedos o brazos mecánicos que corren contra la superficie interna del ducto o usa métodos electromagnéticos para detectar abolladuras o deformaciones. Existen herramientas caliper de canal sencillo y multicanal, con la diferencia en que la última no solo puede detectar anomalías de geometría y medir su profundidad, sino también identifica su forma y las categoriza.
- Herramienta para detectar deformación: opera de manera similar a la herramienta de calibración, pero también utiliza giroscopios que permiten detectar la posición exacta de la abolladura o la deformación del ducto. También son utilizadas para medir inclinación del ducto o el ángulo de curvatura.
- Herramienta de mapeo (*mapping*): se utiliza junto con otras herramientas para proporcionar un mapeo correlacionado del sistema de posicionamiento global (GPS) de la tubería y

otros datos de ubicación física, como por ejemplo válvulas. Es utilizada generalmente en gasoductos costa afuera y en gasoductos que nunca han sido inspeccionados, lo que permite generar una base de datos que servirá en próximas inspecciones.

Esta inspección se da en el momento de realizar los mantenimientos preventivos, por medio de las medidas de los martillos, indica cuando el cambio de los mismos ya es necesario.

**Tabla XIII. Hoja de inspección de geometría**

Empresa de azulejos					
Hoja de inspección de geometría					
Revisor:	Hora:		Modelo:		
Hoja:	Reporte núm.		Cantidad:		
Departamento:			Proceso:		
Indicadores					
Soldadura núm.	Anomalías	Dimensión	Longitud	Peso	Observación de producción
Comentarios					
Firma					

Fuente: elaboración propia.

El periodo de cambio dado anteriormente se produjo gracias a la experiencia de los operadores en su trabajo con el molino; es decir, de manera empírica, ya que dado la experiencia basados en la cantidad de producción de arcilla, el rendimiento de los martillos el tiempo de operación, basados en estas características que indican cuando es el momento correcto para realizar el cambio.

Es imprescindible mencionar que los martillos, no pueden dejarse desgastar por las siguientes razones:

- Para evitar añadir más productos y que existan pérdidas.
- Para evitar el desgaste de tiempo, ya que al tener los martillos desgastados el tiempo de trituración es mayor.
- Dañar el martillo (de forma que ya no se pueda recuperar con soldadura).

## **7.2. Rendimiento de los martillos basados en análisis costo-beneficio**

El beneficio de aplicar recubrimientos duros para la recuperación martillos de molienda mediante la soldadura MIG/MAG comparados con el beneficio en el tiempo de servicio y los costos de una pieza nueva está representado en la reducción de costos, la reducción de tiempos por paradas de producción, el mejoramiento de las propiedades mecánicas en la pieza recuperada, entre otros, los cuales son evidenciados en el desarrollo y aplicaciones.

Para medir el rendimiento de los martillos, se necesitan los datos siguientes:

- Utilizar martillos nuevos
- Utilizar martillos recuperados en taller

El beneficio se obtiene con base en el ahorro económico que se obtiene al dejar de utilizar rodillos nuevos, como primer punto se calcula el costo asociado a los martillos, para moler una tonelada de arcilla, con las dos opciones mencionadas anteriormente, dividiendo el costo de los martillos, entre la producción obtenida.

Seguidamente, se calcula el ahorro por tonelada molida en cada una de las opciones restando el costo por tonelada de los martillos nuevos. Por último, se obtiene el ahorro, el beneficio, multiplicando el ahorro obtenido por tonelada molida, por la producción en toneladas de cada opción.

Tabla XIV. **Análisis beneficio**

Rodillos	Producción (Ton)	Costo (Q.)	Costo/Ton molida	Ahorro/Ton molida	Ahorro (beneficio)
Nuevos	14 400	20 900	1,45	----	---
Recuperados	21 600	17 000	0,79	0,66	14 256

Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenido el beneficio, se procede a calcular el costo-beneficio de las opciones dadas como se observa en la siguiente tabla:

Tabla XV. **Análisis costo-beneficio**

Rodillos	Beneficio (Q)	Costo (Q)	C/B
Nuevos	0	20 900	0
Recuperados	14 256	17 000	1,19

Fuente: elaboración propia.

Con la información recolectada, fue preciso identificar el tipo de desgaste que se presenta en los martillos, como resultado se tiene un desgaste de tipo de abrasión o impacto, no existe otro tipo de desgaste involucrado. Con base al análisis del funcionamiento de los martillos, la materia prima que está involucrada, que no siendo lo demasiado húmeda para un desgaste de tipo corrosivo o químico y las fotografías con aumento tomadas de la zona del desgaste. Aunque la materia prima no es más dura o abrasiva que los martillos, lo que está ocasionando el desgaste es precisamente los impactos repetitivos, llevando a un proceso de fatiga de bajos ciclos.

La mejor opción para la producción de arcilla es la que presenta un rendimiento más alto; es decir, con este procedimiento se consigue mayor rendimiento al menor costo. Con base en el análisis comparativo entre el costo ante la duración, entre un martillo recuperado con revestimiento duro de aleación resistente al desgaste, se obtiene ahorro de Q. 14 256,00 por doce martillos recuperados con un costo de Q. 17 000,00, y tienen una duración de 45 días.

En la misma secuencia de análisis comparativo con base en el índice C/B frente a la duración de los martillos recuperados en el taller, se obtiene el mayor ahorro económico y la cantidad de toneladas de arcilla producida también es mayor, los martillos nuevos producen menos cantidad de arcilla por el hecho que el tiempo de duración es menor al de un martillo recuperado.

- Rendimiento martillo nuevo 0,68 toneladas de arcilla
- Rendimiento martillo recuperado 1,27 toneladas de arcilla

En el mismo orden de ideas, es imprescindible recordar que para que la productividad y rendimiento del molino no disminuya, es recomendable estar



atento al desgaste de los componentes internos, principalmente, de los martillos, estar al día con el mantenimiento preventivo, principalmente con su inspección visual con más frecuencia.

## CONCLUSIONES

1. El proceso de molturación de la arcilla es por medio de la trituración; consiste en toda una serie de operaciones tendentes a la reducción de las dimensiones de los materiales, que va desde la pretrituración gruesa hasta una pulverización extrema. La molienda no pretende solamente obtener pequeñas partículas de un tamaño de partida aproximada; más bien, producir un material con un determinado diámetro medio de partícula y una distribución granulométrica adecuada para el producto que se quiere obtener.
2. La longitud del martillo debe cumplir las condiciones geométricas para el correcto funcionamiento, es decir, deberá guardar relación geométrica con respecto al disco que lo portará.
3. El desgaste es un efecto en la superficie de las piezas a causa de su interacción con otro cuerpo o con el medio donde opera; e como consecuencia la variación en su forma o geometría, en su estructura, y en sus propiedades mecánicas y físicas así se encuentre o no se encuentre remoción de material; y en este caso se dan los distintos tipos de desgaste: adhesivo, abrasivo, y por fatiga.
4. Actualmente, la recuperación de piezas desgastadas por medio de soldadura, es más factible que la adquisición de piezas nuevas, debido a que en la actualidad existen mejores materiales de recuperación que puede prolongar mucho más la vida de los equipos.

5. Las buenas características de penetración del procedimiento MIG/MAG permiten la preparación con bordes más cerrados, con el consiguiente ahorro de material de aportación, tiempo de soldadura y deformación. Las uniones mediante cordones en ángulo, también, permite reducir el espesor del cordón en relación con otros procedimientos de soldeo.
6. El material de aporte utilizado para la recuperación de martillos es acero al manganeso para levantar y como blindaje final alto cromo.
7. Al utilizar la recuperación de martillos por medio de soldadura se disminuirán los paros, y la producción aumentará ya que se producirán, manteniendo siempre bajos costos.

## RECOMENDACIONES

1. El proceso de reducción de las dimensiones se realiza para considerar que el aumento de la superficie específica de los materiales permite conseguir una elevada homogeneidad de la masa; además, la obtención, a continuación, de las reacciones químicas más completas en tiempos breves.
2. Cuando se lleve a cabo la recuperación de los martillos se debe tener cuidado que la temperatura del martillo no sobrepase los 250 C, ya que una temperatura superior podría deformar el martillo corriendo el riesgo que este pierda su estructura mecánica; por lo que se debe realizar con temperatura controlada.
3. Una vez determinado el desgaste, este se convierte en una falla si y solo si, afecta el desempeño de la pieza en la operación, el análisis de desgaste se relaciona con el análisis de falla, con los cuales uno de los métodos de prevención es el mantenimiento, que se realiza con el objetivo, de la mayor longevidad a los martillos; por lo que debe efectuarse diariamente la revisión, el cambio en el sentido de giro, que utiliza de esta forma los dos lados se cambian cada 21 días de lado.
4. No permitir que los martillos se desgasten más allá de la soldadura de recubrimiento ya que esto puede producir la mala trituración de arcilla, así como el gasto innecesario de material e inclusive puede llegar a dañar el martillo de forma que sea imposible recuperarlo

5. La mejor opción para la producción de arcilla es la que presenta un rendimiento más alto, ya que esto quiere decir que con este procedimiento se consigue mayor rendimiento al menor costo.
  
6. La composición química en el material de aporte debe ser electrodo de acero al manganeso y como blindaje final por lo menos el 30 % de alto cromo; la razón por la cual se necesita esta composición es que el cromo es el que combate el desgaste por abrasión.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR, Roberto. *Corrosión y aceros inoxidables*. (Proyectos de investigaciones metalúrgicas). Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 8 p.
2. \_\_\_\_\_. *Introducción a la inspección de soldaduras*. (Proyecto regional de ensayos no destructivos para América Latina y el Caribe). Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1989. 9 p.
3. AGUILAR, Roberto; SORIA, Enrique. *Investigación y reparación de falla por fatiga en un balancín para la trituración de piedra en la fabricación de cemento*. (Proyecto de inspección y reparación de falla de un crisol para galvanizado de chapas de acero). Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 9 p.
4. \_\_\_\_\_. *Sociedad americana de soldadura, manual de inspección de soldadura*. (Proyecto de inspección y análisis de falla por corrosión en una tubería de acero inoxidable). Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 15 p.
5. ASM International. *Corrosion: fundamentals, testing and protection*. 13a ed. Ohio, USA: ASM International, 2005. 2597 p.

6. COYOY LUCAS, Bruno Israel. *Tecnología de la soldadura para mantenimiento industrial de los metales básicos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1996. 120 p.
7. HORWITZ, Henry. *Soldadura: aplicaciones y práctica*. México: Alfaomega, 1990. 786 p.
8. \_\_\_\_\_. *Soldadura, aplicaciones y práctica*. México: Alfaomega, 2002. 808 p.
9. HOWARD, Cary. *Manual de soldadura moderna*. 2a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1992. 317 p.
10. INDURA. *Manual de sistemas y materiales de soldadura*. Chile: INDURA, 2014. 172 p.
11. INDUSTRIA. *Soldadura al arco voltaico SEA*. Guatemala: Intecap. 2002. 241 p.
12. NEWELL, James. *Ciencia de materiales: aplicaciones en ingeniería*. México: Alfaomega, 2011. 336 p.
13. Proyecto MEAL. *Guía de aleaciones y productos*. [en línea]. <<http://www.aidimme.es/docs/meal/Guia-Meal.pdf>>. [Consulta: mayo de 2019].
14. R.L. O' Brien. *Manual de soldadura American Welding Society*. 8a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1996. 327 p.

15. Revinca, C.A. *Procedimientos de soldadura*. Venezuela: Revinca, C.A., 2014. 32 p.
16. RIVAS ARIAS, José María. *Introducción a la soldadura eléctrica*. 8a ed. Madrid, España: Paraninfo, 2006. 128 p.
17. SANTAMARÍA DE LAS CUEVAS, Francisco. *La tecnología de haz de electrones y sus aplicaciones: soldadura, tratamientos térmicos, recubrimientos, perforación, fusión / Francisco Santamaría de las Cuevas*. 5a ed. Madrid, España: McGraw-Hill, 1993. 159 p.
18. SMITH, William y HASHEMI, Javad. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. 4a ed. México: McGraw-Hill Company. Inc., 1986. 718 p.



