

**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**INCREMENTO DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE, POR
IMPACTO Y ABRASIÓN DE LOS MARTILLOS DE UNA
CHANCADORA ARTESANAL CON RECUBRIMIENTOS DUROS
POR EL PROCESO SMAW.**

Tesis presentada por los bachilleres:

Bach: Delgado Loaiza, Samuel Martin.

Bach: Garriazo Ccopa, Carlos Alberto.

Para optar al título profesional de Ingeniero Metalúrgico

Asesor:

M. Sc. Guillermo Barrios Ruiz

CUSCO – PERU

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, por brindarme salud, sabiduría y perseverancia en el logro de mis objetivos.

A mis padres:

A mi mamá Carmen Loaiza Chavez, que siempre está presente, es una gran amiga y madre.

A mi papá Nilo Delgado Sanchez, que siempre está presente, es un gran amigo y padre.

A mis hermanos, Pati, Carlos y Diana, a mi tía Lourdes Loaiza y a toda mi familia, por enseñarme y tener paciencia en mi desarrollo profesional.

A Corina Zuñiga por insistirme en la culminación de mi tesis.

A Rosa Minaya, por ayudarme en esta etapa de la tesis, ser un gran apoyo y ejemplo para mi desarrollo profesional y personal.

A mis amigos y compañeros por los proyectos que fueron y que vienen, para seguir aprendiendo de todos.

Muchas gracias a todos.

Samuel Martin Delgado Loaiza

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme salud, sabiduría y perseverancia en el logro de mis objetivos.

A mi madre: Eugenia Ccopa Quispe. Por sus enseñanzas y educación en valores que me brindo. Por todos los esfuerzos que hizo para que pudiera culminar la carrera profesional de ingeniería metalúrgica.

A mi padre quien en vida fue Rufino Garriazo Rivera. Estoy agradecido por el tiempo que estuviste con nosotros. Aunque ya no presenciaste mi formación profesional sé que siempre estuviste orgulloso de mi.

A mis Hermanos María Eugenia Garriazo Ccopa y Miguel Angel Garriazo Ccopa, que son una motivación grande para lograr mis objetivos, pues siempre me están apoyando para que siga adelante.

A mis sobrinos, primos, tíos, en si a toda mi familia gracias por apoyarme.

A mi padrino y amigos que valoro mucho, gracias por sus consejos y apoyo que me dan.

Carlos Alberto Garriazo Ccopa

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por todo lo otorgado, por la protección diaria y por permitirnos alcanzar nuestros sueños.

A nuestros padres por darnos la vida.

A la Tricentenaria Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por ser nuestra casa de estudios superiores.

A la Facultad de Ingeniería Geología, Minas y Metalúrgica, en particular a la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

A todos los Docentes, por ser parte de nuestra formación universitaria y seguir enseñándonos cada día.

Al Ing. Guillermo Barrios Ruiz, nuestro asesor, por apoyarnos en la elaboración y culminación de la tesis.

Al jurado de nuestra tesis, que, a pesar de la coyuntura, fueron parte fundamental para el desarrollo y culminación de la investigación.

A los bachilleres, Gonzalo Mendoza y Luis Alberto Huallpa por apoyarnos en las pruebas de experimentación de la tesis.

Samuel Martin Delgado Loaiza

Carlos Alberto Garriazo Ccopa

PRESENTACION

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO.

En cumplimiento al Reglamento para Optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica, ponemos a vuestra disposición el trabajo de investigación intitulada: “INCREMENTO DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE, POR IMPACTO Y ABRASIÓN DE LOS MARTILLOS DE UNA CHANCADORA ARTESANAL CON RECUBRIMIENTOS DUROS POR EL PROCESO SMAW” (investigación tecnológica).

El presente trabajo de investigación es experimental, es el resultado de la comparación del acero ASTM A36 con recubrimientos duros y el acero SAE 1060, con el propósito de incrementar la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de una chancadora de artesanal de impacto.

Esperamos cumplir con las exigencias requeridas. Así mismo, sirva de material de investigación y apoyo para personas que lo requieran.

Bach: Samuel Martin Delgado Loaiza.

Bach: Carlos Alberto Garriazo Ccopa.

INTRODUCCION

El desgaste abrasivo es un serio problema que enfrentan muchos equipos de chancadoras de minerales usados en la minería. Este tipo de desgaste hace que el tiempo de vida de los componentes mecánicos se reduzca notablemente ocasionando pérdidas, debido al costo y tiempo empleados en mantenimiento.

Un recubrimiento duro por el proceso SMAW es una técnica de modificación superficial de un componente mediante la aplicación de capas de soldadura con propiedades particulares. El material depositado forma un recubrimiento duro con mayor dureza y resistencia al desgaste, que definen el tiempo de vida del componente.

El recubrimiento duro es un método para proteger una superficie expuesta a diferentes trabajos mecánicos.

En la investigación de la tesis se usa un acero ASTM A-36 de uso comercial y de bajo porcentaje de carbono, con la aplicación de recubrimientos duros a la superficie de este acero, incrementa su dureza y su resistencia al desgaste por abrasión, por esta razón los recubrimientos duros por soldadura SMAW son de tema de interés en la industria metalúrgica.

RESUMEN

La tesis trata de incrementar la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de una chancadora artesanal mediante recubrimientos duros por soldadura SMAW.

La metodología empleada es cuantitativa y experimental. Se determinó las condiciones del recubrimiento duro a través de las siguientes variables: tipo de electrodo, composición del acero ASTM A36 y variables de operación en la ejecución de la soldadura (amperaje, longitud de arco, y velocidad de avance).

Se prepararon las probetas de acero ASTM A 36 para los recubrimientos duros, con los electrodos AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600), AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600 Mn) y AWS A5.13-EFeCr-A8 (CITODUR 1000)

Se hicieron pruebas abrasión en la chancadora artesanal poniendo a prueba los martillos cubiertos con los electrodos y pruebas de dureza con el durómetro INSIZE.

Finalmente se recolectaron y se compararon los datos, demostrando el incremento de la dureza del acero ASTM A36 y el incremento de la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión.

PALABRAS CLAVE:

Incremento de la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de una chancadora.

ABSTRACT

The thesis tries to increase the resistance to wear by impact and abrasion of the hammers of an artisanal crusher by means of hard coatings by SMAW welding.

The methodology used is quantitative and experimental. The conditions of the hard coating were determined through the following variables: type of electrode, composition of the ASTM A36 steel and operating variables in the execution of the welding (amperage, arc length, and advance speed).

The ASTM A 36 steel specimens were prepared for the hard coatings, with the electrodes AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600), AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600 Mn) and AWS A5.13-EFeCr-A8 (CITODUR 1000)

Abrasion tests were performed on the artisanal crusher by testing the hammers covered with the electrodes and hardness testing with the INSIZE durometer.

Finally, the data were collected and compared, demonstrating the increase in the hardness of ASTM A36 steel and the increase in resistance to wear by impact and abrasion.

KEYWORDS:

Increased resistance to wear by impact and abrasion of the hammers of a crusher.

INDICE

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
PRESENTACION.....	v
INTRODUCCION	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE TABLAS	xvii
LISTA DE FIGURAS.....	xix

CAPITULO I

METODOLOGÍA DE ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	1
1.2.1. Problema general.....	1
1.2.2. Problemas específicos	1
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Justificación e importancia	2
1.4.1. Justificación tecnológica	2

1.4.2.	Justificación económica	3
1.4.3.	Justificación social	3
1.4.4.	Justificación ambiental.....	3
1.5.	Tipo de investigación.....	3
1.6.	Nivel de la investigación	4
1.7.	Universo y muestra.....	4
1.8.	Hipótesis	4
1.8.1	hipotesis especificas.....	5
1.9.	Variables.....	5
1.9.1.	Variables independientes.....	5
1.9.2.	Variables dependientes.....	5
1.10	Diseño de la investigación.....	5

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Geología de la zona mineralizada.....	7
2.2.	Chancadora de martillo.....	8
2.2.1.	Partes mecánicas de la chancadora de martillos.....	9
2.3.	El acero	10
2.3.1.	Diagrama de equilibrio hierro carbono	11
2.4.	Desgaste.....	11
2.4.1.	Abrasión.	12
2.4.2.	Rozamiento metálico.....	12

2.4.3.	Corrosión.....	12
2.4.4.	Cavitación.....	12
2.4.5.	Choques e impacto.	13
2.4.6.	Estructuras resistentes al desgaste.....	13
2.5.	La soldadura	16
2.5.1.	Naturaleza de las superficies metálicas.....	16
2.5.2.	Clasificación de los procesos de soldadura.....	17
2.6.	La soldadura por arco eléctrico.	19
2.6.1.	Soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW).19	
2.6.2.	Función del arco eléctrico.	21
2.6.3.	Nociones de electricidad con relación al arco eléctrico.....	21
2.7.	Recubrimiento duro por soldadura	23
2.7.1.	Selección del electrodo adecuado para el recubrimiento duro.....	24
2.7.2.	El cojín o base amortiguadora.....	25
2.7.3.	Tipos de corriente eléctrica.....	26
2.7.4.	Variables de la soldadura manual por arco eléctrico.....	27
2.7.5.	Selección de electrodos para la soldadura manual por arco eléctrico.....	28
2.7.6.	Partes de un electrodo usado en la soldadura manual por arco eléctrico.....	28
2.7.7.	Amperaje correcto.....	29
2.7.8.	Longitud de arco adecuado.....	30
2.7.9.	Angulo de inclinación.....	31

2.7.10.	Velocidad de avance.....	31
2.8.	Recubrimiento duro por soldadura	32
2.8.1.	Selección del electrodo adecuado para el recubrimiento duro.....	33
2.8.2.	Electrodos convencionales para recubrimientos duros.	34
2.8.3.	Indicaciones para la aplicación de los recubrimientos duros.....	35
2.9.	Máquinas de soldar por arco eléctrico.....	36
2.9.1.	Clases de máquinas de soldar por arco eléctrico.....	37
2.9.2.	Ciclo de trabajo.	38
2.9.3.	Tipos de juntas y posiciones de soldadura por arco eléctrico.	39
2.9.4.	Posiciones de la soldadura.....	39
2.10.	Factores que influyen en los cambios de temperatura durante la soldadura por arco eléctrico.....	43
2.10.1.	Aporte de calor (HEAT INPUT).....	43
2.10.2.	Temperatura de precalentamiento.	43
2.10.3.	Geometría de la soldadura.....	44
2.10.4.	Propiedades térmicas del material.....	44
2.10.5.	Diámetro del electrodo.....	44
2.11.	Zona afectada por el calor (ZAC).....	44
2.11.1.	Ciclos térmicos típicos en la soldadura.	45
2.11.2.	Efectos del aporte de calor y de la temperatura de precalentamiento. ...	46
2.12.	Acero ASTM A36.....	49
2.12.1.	Propiedades mecánicas y características.	50

2.13.	Carbono equivalente	52
2.14.	Diagrama de Graville.....	53
2.15.	Dilución.	54
2.16.	Dureza.....	56
2.16.1.	Escalas de dureza	56

CAPITULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1.	Diagrama de flujo del desarrollo experimental	58
3.2.	Equipos y herramientas	59
3.2.1.	Máquina de soldar.	59
3.2.2.	Chancadora de martillos artesanal.....	60
3.2.3.	Durómetro insize	60
3.2.4.	Herramientas e instrumentos	61
3.3.	Materiales de la investigacion	61
3.3.1.	Material base (ASTM A 36).....	61
3.3.2.	Material de aporte.....	63
3.4.	Preparación de probetas.....	64
3.4.1.	Procedimiento.....	65
3.5.	Cálculos soldadura.....	77
3.5.1.	Velocidad de avance.....	77
3.5.2.	Calculo del calor neto.....	78

3.5.3. Ancho de la zona afectada por el calor (Y).....	79
3.5.4. Cálculo del desgaste por abrasión de las probetas.	80
3.5.5. Dureza de las probetas en HB	86

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Diseño de experimental.....	87
4.1.1 Análisis y niveles de las variables.....	88
4.1.1.1 Variables independientes.....	88
4.1.1.2 Variable dependiente.....	89
4.1.2 Diseño factorial 2 ³ con dos réplicas.....	89
4.2. Análisis de resultados	91
4.2.1. Desgaste promedio de las probetas	91
4.2.2. Consumo de electrodos	92
4.2.3. Conclusión de resultados.....	95
Matriz de consistencia.....	96
Conclusiones	97
Recomendaciones	98
Bibliografía	99
Anexos	
.....	10

0

Procedimiento de soldadura para el electrodo AWS A5.13-EFe3 (Citodur 600)..	100
---	-----

Procedimiento de soldadura para el electrodo AWS A5.13-EFe3-Mn (Citodur 600 Mn).....	101
Procedimiento de soldadura para el electrodo AWS A5.13-EFeCr-A8 (Citodur 1000)	102
Manual de soldadura 7ma edición Oerlikon pagina 160	103
Manual de soldadura 7ma edición Oerlikon pagina 201	104
Manual de soldadura 7ma edición Oerlikon pagina 202.	105
Manual de soldadura 7ma edición Oerlikon pagina 203.	106
Manual de soldadura 7ma edición Oerlikon pagina 205	107
Características del acero SAE 1060.....	108
Durometro inzise.....	109
Pruebas de dureza con el electrodo AWS A5.13-EFe3	110
Pruebas de dureza con el electrodo AWS A5.13-EFe3	111
Pruebas de dureza con el electrodo AWS A5.13-EFeCr-A8.	112
Pruebas de dureza para el acero ASTM A36.....	113
Pruebas de dureza para el acero SAE 1060	114
Calculo del volumen desgastado del SAE 1060	115
Calculo del volumen desgastado del ASTM A36.....	116
Calculo del volumen desgastado del recubrimiento duro con electrodo AWS A5 .13 EFe3	117
Calculo del volumen desgastado del recubrimiento duro con electrodo AWS A5 .13 EFe3-Mn	118

Calculo del volumen desgastado del recubrimiento duro con electrodo AWS A5 .13	
- EFeCr - A8.....	119
Razón social de la empresa.....	120

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. 1 Diseño Factorial de 3 Factores y 2 Niveles	6
Tabla 2. 1 <i>Aceros y Fundiciones</i>	10
Tabla 2. 2 Orientación para la aplicación de soldaduras convencionales para recubrimientos duros.....	14
Tabla 2. 3 <i>Normas internacionales de soldadura</i>	29
Tabla 2. 4 <i>Relación entre espesor de plancha, electrodo y amperaje</i>	30
Tabla 2. 5 <i>Resultado de la estimación de la ZAC a partir de las curvas del ciclo térmico de la figura 2.5</i>	48
Tabla 2. 6 <i>Propiedades físicas del acero ASTM A36</i>	51
Tabla 2. 7 <i>Propiedades mecánicas del acero ASTM A36</i>	51
Tabla 2. 8 <i>Composición química del acero ASTM A36</i>	51
Tabla 3. 1 <i>Herramientas y características</i>	61
Tabla 3. 2 <i>Carbón Equivalente</i>	62
Tabla 3. 3 <i>Análisis químico de los electrodos AWS A5.13-EFe 1, AWS A5.13-EFe3, AWS A5.13-EFe3-Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8</i>	63
Tabla 3. 4 <i>Parámetros de soldeo del recubrimiento de cojín</i>	63
Tabla 3. 5 <i>Parámetros de soldeo de los recubrimientos duros</i>	64
Tabla 3. 6 <i>Propiedades Mecánicas de los electrodos AWS A5.13-EFe 1, AWS A5.13-EFe 3, AWS A5.13-EFe 3-Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8</i>	64
Tabla 3. 7 <i>Recubrimiento del AWS A5.13-EFe 1 como cojín de los recubrimientos duros</i>	77
Tabla 3. 8 <i>Etapas de recubrimiento del AWS A5.13-EFe3, AWS A5.13-EFe3-Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8</i>	78

Tabla 3. 9 <i>Eficiencia de los procesos de soldeo</i>	78
Tabla 3. 10 <i>Resultado del calor neto del recubrimiento duro con el electrodo AWS A5.13-EFe 1</i>	79
Tabla 3. 11 <i>Zona afectada por el calor (ZAC) para el electrodo AWS A5.13-Efe1</i> ...	79
Tabla 3. 12 <i>Ancho de la probeta inicial, final, y desgaste en mm del acero SAE 1060 Y ASTM A36</i>	80
Tabla 3. 13 <i>Ancho de la probeta inicial, final, y desgaste en mm del acero recubierto con los electrodos AWS A5.13 EFe3, AWS A5.13 EFe3_Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8.</i>	81
Tabla 3. 14 <i>Valores estadísticos de los electrodos</i>	82
Tabla 3. 15 <i>Durezas de los metales empleados en las pruebas de abrasión</i>	86
Tabla 4. 1 <i>Análisis y niveles de las variables independientes</i>	88
Tabla 4. 2 <i>Niveles de prueba de los factores del diseño experimental</i>	90
Tabla 4. 3 <i>Desgaste promedio por abrasión</i>	92
Tabla 4. 4 <i>Peso de electrodos</i>	93
Tabla 4. 5 <i>Número de electrodos consumidos</i>	93
Tabla 4. 6 <i>Costo de electrodos</i>	93
Tabla 4. 7 <i>Costo de maquinado por 10 probeta</i>	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 Ubicación de la zona minera la Rinconada, Ananea	8
Figura 2. 2 <i>Chancadora de martillo artesanal</i>	10
Figura 2. 3 <i>Diagrama de Fe-C</i>	11
Figura 2. 4 <i>Soldadura por presión</i>	18
Figura 2. 5 <i>Soldadura por fusión</i>	19
Figura 2. 6 Partes del circuito por soldadura eléctrica.....	20
Figura 2. 7 <i>Proceso de soldadura por arco eléctrico</i>	21
Figura 2. 8 <i>Flujo eléctrico</i>	22
Figura 2. 9 Diversas juntas y posiciones de soldadura	40
Figura 2. 10 <i>Movimientos oscilatorios comunes</i>	40
Figura 2. 11 <i>Soldadura en posición plana (1G)</i>	41
Figura 2. 12 <i>Soldadura en posición horizontal (2G)</i>	41
Figura 2. 13 <i>Soldadura en posición vertical (3G)</i>	42
Figura 2. 14 <i>Soldadura en posición sobre cabeza</i>	42
Figura 2. 15 <i>Soldadura a tope con penetración completa</i>	45
Figura 2. 16 <i>Ciclos térmicos en diferentes lugares de la ZAC.</i>	45
Figura 2. 17 Ciclos térmicos en diferentes zonas de la ZAC para una soldadura SMAW	47
Figura 2. 18 Diagrama de Graville para la clasificación de aceros	54
Figura 2. 19 <i>Dilución para diferentes tipos de junta</i>	55
Figura 3. 1 <i>Diagrama de flujo que se siguió en la metodología experimental</i>	58
Figura 3. 2 <i>Características técnicas de la máquina de soldar</i>	59
Figura 3. 3 <i>Características técnicas del durómetro</i>	60

Figura 3. 4 <i>Características técnicas del durómetro</i>	60
Figura 3. 5 <i>Acero ASTM A36</i>	61
Figura 3. 6 <i>Zonas del Diagrama De Graville</i>	62
Figura 3. 7 <i>Martillo de la chancadora</i>	65
Figura 3. 8 <i>Corte del acero ASTM A36</i>	66
Figura 3. 9 <i>Acero ASTM A 36</i>	66
Figura 3. 10 <i>Marcado del acero ASTM A36</i>	67
Figura 3. 11 <i>Medición de las probetas con Vernier</i>	67
Figura 3. 12 <i>Perforado de las probetas</i>	68
Figura 3. 13 <i>Ensanchado del agujero</i>	68
Figura 3. 14 <i>Recubrimiento de cojín</i>	69
Figura 3. 15 <i>Probeta recubierta con AWS A5.13-EFe 1</i>	69
Figura 3. 16 <i>Probetas desbastadas recubierta con AWS A5.13-EFe 1</i>	70
Figura 3. 17 <i>Recubrimiento con AWS A5.13-EFe3</i>	70
Figura 3. 18 <i>Recubrimiento con AWS A5.13-EFe3-Mn</i>	71
Figura 3. 19 <i>Recubrimiento con AWS A5.13-EFeCr-A8</i>	72
Figura 3. 20 <i>Marcado de las probetas</i>	72
Figura 3. 21 <i>Foto de la parte frontal de la chancadora de martillos</i>	73
Figura 3. 22 <i>Foto lateral de la chancadora de martillos</i>	73
Figura 3. 23 <i>Chancadora con martillos de acero SAE 1060</i>	74
Figura 3. 24 <i>Chancadora de martillos de acero ASTM A36 recubiertos con AWS A5.13-EFe3</i>	74
Figura 3. 25 <i>Chancadora de martillos de acero ASTM A36 recubiertos con AWS A5.13-EFe3-Mn</i>	75
Figura 3. 26 <i>Martillos de acero ASTM A 36 recubiertos con AWS A5.13-EFeCr-A8</i> . 75	

Figura 3. 27 Prueba de dureza.....	76
Figura 3. 28 Recopilación de los datos de las probetas después de las pruebas de abrasión	76
Figura 3. 29 Gráfico de Abrasión en mm (SAE 1060)	83
Figura 3. 30 Gráfico de abrasión en mm (ASTM A36)	83
Figura 3. 31 Gráfico de abrasión en mm (AWS A5.13 EFe3).....	84
Figura 3. 32 Gráfico de abrasión en mm (AWS A5.13 EFe3-Mn).....	85
Figura 3. 33 Gráfico de abrasión en mm (AWS A5.13-EFeCr-A8)	85
Figura 4. 1 Diseño factorial 2^3 y su representación geométrica	91
Figura 4. 2 Gráfico de abrasión en 3D	92
Figura 4. 3 Costo de 10 probetas y electrodos usados por recubrimiento	94
Figura 4. 4 Comparación de desgaste en mm/probeta	95

SIMBOLOGIAS Y ABREVIATURAS

ASTM	Sociedad Americana para pruebas y materiales.
A.A.E	Ángulo de avance en grados sexagesimales.
AWS	Sociedad americana de soldadura.
CE	Carbono equivalente.
CJP	Junta de ranura de penetración completa.
DIN	Instituto Alemán para la Normalización.
GMAW	Soldadura por arco con gas de protección y metal.
GTAW	Soldadura por arco con electrodo de tungsteno y gas.
HSLA	Acero de alta resistencia y baja aleación.
MB	Metal Base.
PJP	Junta de ranura de penetración parcial.
PQR	Registro de Calificación de procedimiento.
SMAW	Soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido.
WPS	Especificación del procedimiento de Soldadura.
ZAC	Zona Afectada por el Calor.
ZF	Zona Fundida.
R	Es la resistencia del arco (ohmios).
I	Es la intensidad de corriente (amperios).
P	Potencia del arco (watt).
H	Aporte de calor (Joules/milímetro).
V	Voltaje (voltios).
f	eficiencia térmica del proceso de soldadura.
K	conductividad térmica (cal./seg./cm/°C).
δ	Densidad (g/cm ³).

C	calor específico (cal/g/°C).
k	difusividad térmica (c/seg. m ³).
T_{max}	Temperatura máxima (°C).
T_o	Temperatura inicial de la chapa (°C).
T_{fusion}	Temperatura de fusión (°C).
H_{neto}	Energía aportada neta (J/mm).
v	velocidad de avance de la fuente de calor (mm/seg. m ³)
ρ	Densidad del material (g/ m)
C	Calor específico del metal sólido (J/g.°C.)
$\rho.C$	Calor específico volumétrico (J/ m.°C)
t	Espesor de la chapa a soldar (cm).
X_W	Porcentaje promedio del elemento X en el depósito de soldadura.
X_A	Porcentaje promedio del elemento X en el metal base A.
X_B	Porcentaje promedio del elemento X en el metal base B.
D_A	Porcentaje de dilución del metal base A, expresado en decimal.
D_B	Porcentaje de dilución del metal base B, expresado en decimal.
D_T	Dilución total de a y b
Y	ancho de la ZAC (mm).
u	promedio considerado por la hipótesis.
x	media muestral.
σ	desviación estándar de la muestra.
n	numero de pruebas.
Z	valor de z tipificado.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar

CAPITULO I

METODOLOGÍA DE ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La actividad pequeña minería en el país es muy difundida, la cual en su mayoría usan chancadoras de martillos para la reducción de tamaño de minerales. Los martillos de esta chancadora tienen un deterioro prematuro por la abrasión e impacto, entre el martillo y el mineral, los tipos de deterioro se ocasiona en la superficie del martillo, desgastes, rupturas y agrietamientos, disminuyendo la vida útil del martillo, esto produce paradas en la operación lo que se manifiesta como pérdidas económicas para la empresa.

El acero ASTM A36 que es un acero de bajo carbono, que ofrece baja dureza durante la operación de conminución, sufre un desgaste más rápido que un acero especial al manganeso y molibdeno; por tal motivo este acero debe ser cubierto con materiales de aporte duros como el AWS A5.13-EFe3, AWS A5.13-EFe3-Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿En qué medida los recubrimientos duros por el proceso SMAW, incrementa la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos del acero ASTM A36 de una chancadora artesanal?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo evitar el cambio prematuro de los martillos y cuál de los siguientes electrodos de aporte, será el más adecuado para incrementar la dureza y la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de la chancadora (AWS A513-EFe3, AWS A5.13-EFe3-Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8)?

- ¿En qué medida incrementará la dureza de los martillos los electrodos AWS A513-EFe3 (CITODUR 600), AWS A5.13-EFe3-Mn (CITODUR 600 Mn) y A5-13 EFeCr-A8 (CITODUR 1000), utilizando el proceso SMAW?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Incrementar la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de acero ASTM A36 de una chancadora artesanal, mediante recubrimientos duros por el proceso SMAW.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evitar el cambio prematuro de los martillos de la chancadora, mediante recubrimientos duros por el proceso SMAW y seleccionar los electrodos de aporte (AWS A5.13-EFe3, AWS A5.13-EFe3-Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8) que incrementa, la dureza superficial de los martillos de la chancadora.
- Realizar pruebas de recubrimientos duros con el electrodo AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600), AWS A5.13-EFe3-Mn (CITODUR 600 Mn) y AWS A5.13 EFeCr-A8. (CITODUR 1000), utilizando el proceso SMAW para incrementar la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión, de los martillos.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Los recubrimientos duros por soldadura SMAW del acero ASTM A36 incrementara la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de la chancadora.

Los recubrimientos duros en el acero ASTM A36 prolongará la vida útil de los martillos de la chancadora.

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA

En la ciudad del Cusco se tiene especialistas en ciencia y tecnología para dar soluciones a problemas en equipos como los recubrimientos duros por soldadura SMAW del acero ASTM

A36, es una opción lo tratado en el presente trabajo de investigación tecnológica, pues incrementa la dureza y la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de la chancadora sometidos a impacto directo con el mineral.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Con recubrimientos duros por el proceso SMAW se evita el cambio completo del martillo de la chancadora.

- Se disminuye costos de reemplazo de pieza.
- Mayor vida útil de los martillos, aumentando el tiempo de trabajo de la chancadora e incrementando la producción.

1.4.3. JUSTIFICACION SOCIAL

Con la aplicación de esta tecnología de investigación se beneficiará a los mineros artesanales, que hacen uso de la chancadora de martillos, reemplazando los martillos de acero SAE 1060 con el acero ASTM A36 con recubrimientos duros, que, incrementa la resistencia al desgaste de los martillos, prolongando la vida útil de los martillos, así mismo brinda una tecnología económicamente aplicable al minero artesanal.

1.4.4. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

Al reemplazar el acero SAE 1060 por el acero ASTM A36 con recubrimientos duros por soldadura SMAW, se reduce la generación de residuos metálicos, porque los martillos pueden ser recuperados para cumplir su objetivo inicial.

1.5. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es cuantitativa y experimental, que pretende realizar recubrimientos duros por soldadura SMAW del acero ASTM A36, con el fin incrementar la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión.

1.6. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

- Descriptivo. - Describe la tecnología de recubrimientos duros por soldadura SMAW del acero ASTM A36.
- Analítico. - Se realizará un diagnóstico en las probetas del acero ASTM A36, por recubrimientos duros por soldadura SMAW con diferentes electrodos:
 - AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600)
 - AWS A5.13-EFe3 - Mn(CITODUR 600 Mn)
 - AWS A5.13-EFeCr-A8 (CITODUR 1000)
- Explicativo. - Durante los recubrimientos duros por soldadura SMAW habrá cambios microestructurales, por consiguiente, cambios en las propiedades mecánicas:
 - Resistencia a la abrasión
 - Dureza
- Experimental. - Se realizarán las pruebas a las probetas de acero ASTM A36.

1.7. UNIVERSO Y MUESTRA

El universo: Aceros al carbono.

La muestra:

- Acero ASTM A36.
- Recubrimiento con el electrodo AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600)
- Recubrimiento con el electrodo AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600 Mn)
- Recubrimiento con el electrodo AWS A5.13-EFeCr-A8 (CITODUR 1000)

1.8. HIPÓTESIS

Se incrementó la resistencia al desgaste por impacto y abrasión de los martillos de acero ASTM A36 con recubrimientos duros por soldadura SMAW.

1.8.1 HIPOTESIS ESPECIFICAS

- Se evita el cambio prematuro de los martillos y se incrementa la dureza y la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de la chancadora con el electrodo AWS A5.13-EFe3-Mn.
- Se incrementa la dureza de los martillos los electrodos AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600), AWS A5.13-EFe3-Mn (CITODUR 600 Mn) y A5-13 EFeCr-A8 (CITODUR 1000), utilizando el proceso SMAW

1.9. VARIABLES

1.9.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Tipo de electrodo
- Composición del acero ASTM A36
- Variables de operación en la ejecución de la soldadura (Amperaje, Longitud de arco, velocidad de avance)

1.9.2. VARIABLES DEPENDIENTES

- Resistencia al desgaste, por impacto y abrasión y duración de los martillos de la chancadora.

3.10 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo de investigación se adoptó el diseño factorial de experimentos. Por lo cual se determinó la significancia relativa de las variables en estudio y de los modelos matemáticos empíricos. Eligiéndose el diseño factorial de 3 factores y 2 niveles con la ecuación 2^3 , como se ve en la Tabla 1.1, además se realizó dos replicas que garantizaron la aleatoriedad del experimento.

Tabla 1. 1 Diseño Factorial de 3 Factores y 2 Niveles

N	X1	X2	X3	Y
1	+1	+1	+1	Y1
2	-1	+1	+1	Y2
3	+1	-1	+1	Y3
4	-1	-1	+1	Y4
5	+1	+1	-1	Y5
6	-1	+1	-1	Y6
7	+1	-1	-1	Y7
8	-1	-1	-1	Y8

Fuente: Miranda y Medina, 2015: 268

En donde X1, X2, X3 son las variables independientes correspondientes al tipo de electrodo, composición del acero ASTM A36 y variables de operación en la ejecución de la soldadura (Amperaje, Longitud de arco, velocidad de avance). Por otra parte, Y es la variable respuesta correspondiente al incremento de la resistencia al desgaste por impacto y abrasión de los recubrimientos duros, sin embargo, esta será evaluado a partir de sus subvariables, como es el caso de la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión y duración de los martillos de la chancadora.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.GEOLOGIA DE LA ZONA MINERALIZADA

La zona de la Rinconada que está ubicada en el distrito de Ananea, provincia de Sandia, departamento de Puno, a una altura 4800 m.s.n.m. alejado a 170 km de la ciudad de Juliaca.

GEOLOGÍA

En el área del yacimiento aurífero de la Rinconada aflora una secuencia pizarras y lutitas negras interestratificadas con cuarcitas y areniscas de la formación Ananea del Ordovícico, correspondiente al Paleozoico inferior, de Rumbo N.W. a S.E. y Buzamiento de 10° a 20° al S.W. Las cuarcitas son de gris claro a colores negros y conformados por una losa de grano medio metamorfoseado, expuesta en paquetes de 0.10 a 0.30. cm. estos estratos fueron cortados por los diques Tentadora y San Pedro (Rumbo N.W. y N.E. de Buzamiento) y un mini stock de 200 a 300 m. del Paleozoico Superior, causante de la mineralización. Así mismo, los estratos fueron cortados por la veta Chabuca (rumbo N.W. y buzamiento S.W.), veta Poderosa y zonas de stocworck y las vetas son más jóvenes 45 el yacimiento se halla entre los 4 800 m.s.n.m. a 5 800 m.s.n.m. gran parte del área se encuentra cubierta por hielo glacial comprendiendo los sectores: San Francisco o Rinconada, Cerro Lunar, Riticucho, Comuni, Callejón y Llactapata – Compuerta. del sector Cerro Lunar, que es un nevado que se origina una enorme lengua glacial de más de 2.5 Kms. de longitud con un ancho aproximado de 400 mts. que se aloja en el profundo valle glacial de San Francisco o Rinconada. (CUEVA, 2019)

Los yacimientos auríferos se encuentran en esta zona son estratos de pizarras con intercalaciones de cuarcitas y de origen tipo morrena (UNI, 1995).

Los yacimientos minerales están formados por estructuras mineralizadas en forma de mantos, separadas entre 0.50 y 30 m, esta mineralización ocupa los espacios libres de los planos de estratificación de las pizarras. Hay presencia de cuarzo hialino con contenidos de oro nativo

y pirita, en menor proporción galena, estibina y otros sulfuros, habiéndose determinado que el oro no está asociado a la pirita (UNI, 1995), se muestra en la figura 2.1 la ubicación de la Rinconada.

Figura 2. 1 Ubicación de la zona minera la Rinconada, Ananea.



Fuente: Google Earth Pro. Coordenadas en UTM: 19 L 442317.83m E 8377300.88m S elevación 4656 m

2.2.CHANCADORA DE MARTILLO

Una chancadora de martillos, puede disgregar por impacto directo minerales blandos y semiduros. Esta chancadora emplea una gran cantidad de golpes para destruir y reducir el mineral. El principio de la chancadora de martillos es el impacto producido por los martillos sobre el mineral. La chancadora consta de un cuerpo móvil denominado martillo gira alrededor de un eje de rotación, una criba, considerado como un tamiz que filtra a través de sus orificios el producto chancado. La chancadora trabaja a velocidades que oscilan entre 500 y 1800 RPM, la alta velocidad es necesaria para que la energía cinética transmitida al martillo pueda romper el producto en el punto de contacto, haciendo que estos se comporten como materiales frágiles. Se muestra las partes de una chancadora de martillos en la figura 2.2 (Uribe Pérez & Lozano Ramírez, 2014, pág. 31)

Ventajas:

- Fragmentar partículas por impacto.
- Pueden operar continuamente.
- Operación de mantenimiento es sencilla y económica.
- Apto para materiales blandos y semiduros.

Desventajas:

- Su funcionamiento es alto en vibraciones.
- Necesita de un alto esfuerzo de par de motor.

2.2.1. PARTES MECÁNICAS DE LA CHANCADORA DE MARTILLOS

Los principales componentes de este equipo se muestran en la figura 2.2

Descripción de las partes:

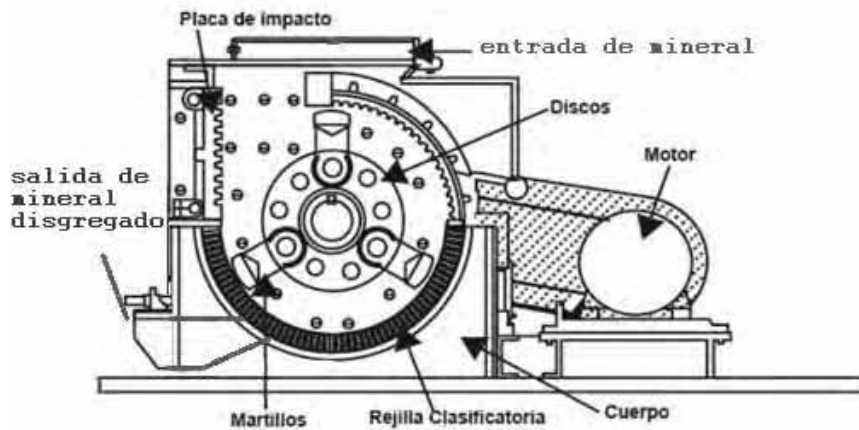
2.2.1.1. CUERPO.

Sirve de soporte y acople a las otras partes constituidas de la chancadora. Además, contribuye con sus paredes internas a la desintegración del material.

Son fabricados generalmente de chapa de acero ASMT A36 y soldadas entre todas sus partes.

La sección superior es removible, con el fin de permitir el montaje del eje y la limpieza del rotor en su interior. Sus paredes internas son revestidas con platinas de acero ASTM A36, con el fin de disminuir el desgaste y protegerlas de golpes. Algunas máquinas de tamaño considerable son equipadas con ventanas que permiten un acceso fácil para la inspección y limpieza en el interior de la máquina en la figura 2.2 (Uribe Pérez & Lozano Ramírez, 2014, pág. 34)

Figura 2.2 Chancadora de martillo artesanal



Fuente <https://www.trituracionymolienda.com/Molinos.html>

2.2.1.2. REJILLA CLASIFICADORA.

Su función en el proceso, es clasificar el tamaño de la partícula. los barrotes de las rejillas o parrillas son fabricados de acero. (Uribe Pérez & Lozano Ramírez, 2014, pág. 34)

2.2.1.3. MARTILLOS.

Son los elementos encargados de chancar o triturar los minerales. Normalmente van acopladas en la periferia de un volante, que les proporciona la velocidad necesaria, para que desintegre el mineral con la fuerza de impacto desarrollada. El material, las dimensiones y forma de los martillos trituradores, se selecciona de acuerdo a las propiedades físicas del material a triturar. (Uribe Pérez & Lozano Ramírez, 2014, pág. 35)

2.3. EL ACERO

El acero es una aleación de hierro- carbono y otros elementos químicos, se muestra en la tabla 2.1 los aceros y las fundiciones

Tabla 2.1 Aceros y Fundiciones

ACEROS	FUNDICIONES
$0 < C < 2\%$	$\%C > 2\%$

Fuente: *Introducción a la Metalurgia de la Soldadura. Dr. Carlos Fosca, Pag 18*

El estudio de las aleaciones se realiza mediante los llamados diagramas de fase, que son “mapas” que nos indican que sucede en el interior de una aleación determinada, cuando está en estado sólido se le calienta o enfría muy lentamente (en estado de equilibrio) (Fosca, 2003).

2.3.1. DIAGRAMA DE EQUILIBRIO HIERRO CARBONO

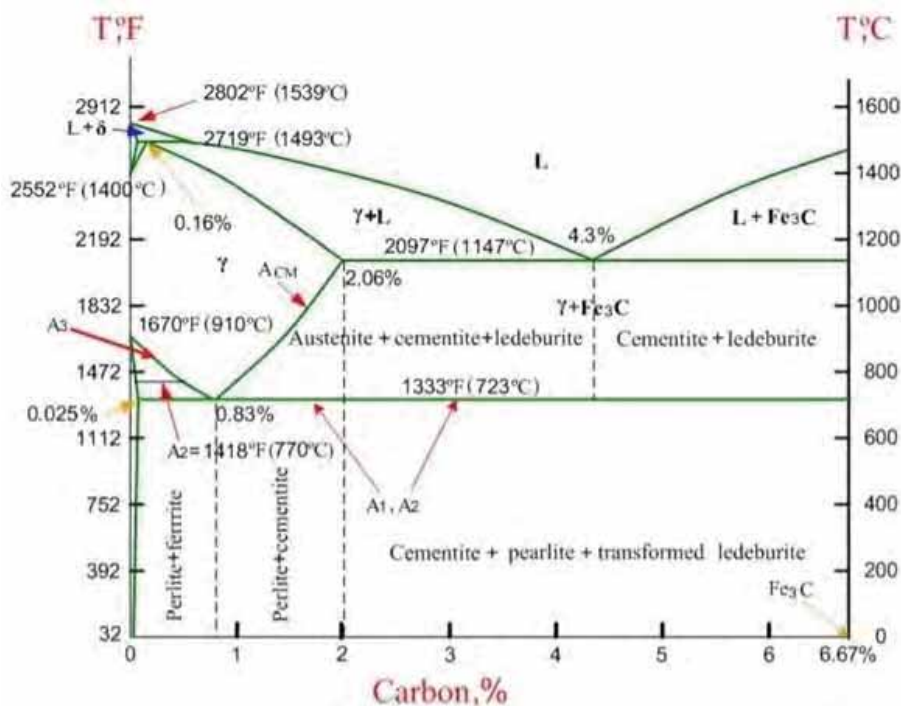
Se representan las transformaciones que sufren los aceros al carbono con la temperatura y porcentaje de carbono, el calentamiento o enfriamiento de la mezcla se realiza lentamente, de modo tal que los procesos de difusión tengan tiempo para completarse. Dicho diagrama se obtiene experimentalmente identificando los puntos críticos, temperaturas a las que se producen las sucesivas transformaciones, se ve en la figura 2.3 el diagrama de Fe-C (Fosca, 2003, pág. 18)

2.4. DESGASTE

Desgaste es la pérdida de partículas metálicas de la superficie de una pieza por acción directa o por combinación de una serie de factores. (Soldexa, pág. 125)

Entre estos factores tenemos:

Figura 2.3 Diagrama de Fe-C



fuelle: https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_hierro-carbono

2.4.1. ABRASIÓN.

Decimos que una pieza se desgasta por abrasión, cuando se encuentra en constante fricción con mineral, 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 (Soldexa, pág. 125).

Generalmente los recubrimientos duros por soldadura, que deben resistir al desgaste por abrasión, deben ser de 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, como es el caso de los dientes de las palas mecánicas. (Soldexa, pág. 125)

2.4.2. 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 “recarga o recubrimiento duro” con un electrodo apropiado. (Soldexa, pág. 125)

2.4.3. 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. 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. (Soldexa, pág. 126)

2.4.4. 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 estas se hallan formando, la turbulencia aumenta y también aumentara la severidad del desgaste en la parte interna de la pieza. El ejemplo más notable lo encontramos en los alabes o paletas de turbinas hidráulicas. (Soldexa, pág. 126)

2.4.5. 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 (Soldexa, pág. 126).

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 duro debe hacerse con criterio de la importancia e influencia de cada factor en el proceso de desgaste o deterioro de la pieza. (Soldexa, pág. 126)

2.4.6. ESTRUCTURAS RESISTENTES AL DESGASTE.

La resistencia al desgaste de metales y aleaciones está en función de la microestructura del metal. Esta a su vez, depende de la composición química y del ciclo térmico impuesto. Las tres estructuras metalúrgicas más importantes, presentes en los depósitos de soldadura para recubrimientos duros especiales, son: Martensita, austenita y carburos. Esta última estructura puede encontrarse en forma dispersa o en forma de red. Así mismo tienen diferentes propiedades. (Soldexa, pág. 128)

2.4.6.1. MARTENSITA.

Es la estructura más común y más ampliamente usada en los depósitos de recubrimientos duros; es resistente a todos los tipos de condiciones blandamente abrasivos y algunas condiciones severamente abrasivas.

La martensita tiene una alta dureza, que aumenta con el incremento del carbono. Los depósitos martensíticos tienen moderada ductibilidad y mediana resistencia al impacto. La martensita ofrece ventajas al ser usada contra medios de abrasión por rayado, condición que puede

considerarse moderada. Las martensitas con más alto porcentaje de carbono presentan excelente resistencia a la abrasión por esmerilado. (Soldexa, pág. 130)

Tabla 2. 2 Orientación para la aplicación de soldaduras convencionales para recubrimientos duros

ELECTRODOS OERLICOKON	CITODUR 350	CITODUR 600	CITODUR 1000	CITOMANGAN	TOOLCORD
Elementos de aleación en el deposito	C Mn Cr 2.9%	C Mn Cr 6.8%	C Mn Si Cr 36%	C S P Si Mn 13.2%	C Mn Si Mo Cr V W
Dureza Rockwell C	27 - 40	57 - 62	62 - 65	50 – 60 auto endurecido	64 – 66 Con tratamiento térmico
Para los filos cortantes	2	3	2	2	5
Resistencia a abrasión	2	4	5	4	4
Resistencia a rozamiento metalico	3	4	4	2	5
Resistencia a golpes e impactos	5	4	2	5	5
Resistencia a atmosferas corrosivas	2	2	5	2	4
Resistencia al calor	2	3	5	2	4
Maquinabilidad	5	2	2	2	2
Forjabilidad	5	5	2	3	5
Endurecimiento por el propio trabajo	3	3	3	5	-

Fuente Manual de soldadura séptima edición SOLDEXA (Pág. 128)

1: Contraindicado.

2: No recomendado.

3: Regular.

4: Bueno.

5: Muy bueno.

2.4.6.2.AUSTENITA.

La austenita es blanda y dúctil; se auto endurece rápidamente durante el trabajo con impacto y posee buenas cualidades de resistencia a la abrasión por raspado. Los depósitos austeníticos tienen un núcleo tenaz y dúctil, que soporta una capa superficial que se endurece durante el trabajo.

La austenita es también una fase muy importante en depósitos de alto carbono que contienen carburos y sirve para impartir cierta ductilidad a los mismos. Los depósitos austeníticos son excelentes como cojinetes amortiguadores, antes de aplicar las capas duras sobrepuestas. (Soldexa, pág. 130)

2.4.6.3.CARBUROS EN RED.

La red de carburos se forma por precipitación a partir de una fusión de alto carbono, originando así red continua en el metal solidificado. Este tipo de carburo es una estructura extremadamente dura y frágil, con baja resistencia al impacto. En estos depósitos la estructura de carburo rodea la fase de matriz, que generalmente es austenítica.

Los carburos en red aumentan la resistencia al desgaste; también son efectivos contra la abrasión por esmerilado severo, siempre que el carburo tenga mayor dureza que el abrasivo. El aumento de la resistencia al desgaste es proporcional a la cantidad de carburo presente, pudiendo alcanzar el depósito por saturación, las propiedades del carburo que son: alta dureza y baja ductilidad, lo que ocasionara depósitos frágiles y susceptibles a rajaduras. (Soldexa, pág. 131)

2.4.6.4.CARBUROS DISPERSOS.

Los carburos dispersos están rodeados por metal de ligamento. Un porcentaje relativamente alto puede estar contenido en un depósito de soldadura, antes que la resistencia y ductilidad del depósito alcancen los valores del carburo; la mayor dispersión del carburo en el depósito de soldadura refleja las propiedades del metal de liga, es decir de la matriz. Son propiedades de la

matriz las que controlan el empleo del carburo disperso. Al emplear adecuadamente los depósitos con carburo dispersos se obtiene mejores resultados contra todos los tipos de desgaste, aun los combinados.

Es de recalcar que no siempre un alto valor de dureza es un parámetro indicativo de buena resistencia a determinado tipo de desgaste, más importante es el tipo de estructura presente en el depósito de soldadura. (Soldexa, pág. 131)

2.5.LA SOLDADURA

Es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos o más metales, usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión), en la cual las piezas son soldadas fundiendo ambas y agregando un material de relleno fundido (metal), el cual tiene un punto de fusión menor al de la pieza a soldar, para conseguir un baño de material fundido (el baño de soldadura) que, al enfriarse, se convierte en una unión fija. A veces la presión es usada conjuntamente con el calor, o por sí misma, para producir la soldadura. Esto está en contraste con la soldadura blanda (soldering) y la soldadura fuerte (brazing), que implican el derretimiento de un material de bajo punto de fusión entre piezas de trabajo para formar un enlace entre ellos, sin fundir las piezas de trabajo.

Muchas fuentes de energía diferentes pueden ser usadas para la soldadura, incluyendo una llama de gas, un arco eléctrico, un láser, un rayo de electrones, procesos de fricción o ultrasonido. La energía necesaria para formar la unión entre dos piezas de metal generalmente proviene de un arco eléctrico. La energía para soldaduras de fusión o termoplásticos generalmente proviene del contacto directo con una herramienta o un gas caliente. (Ospino, s.f.)

2.5.1. NATURALEZA DE LAS SUPERFICIES METÁLICAS.

Se considera dos superficies metálicas planas, ideales como para que se establezca un íntimo contacto entre ellos. Sin embargo, las superficies metálicas raramente se encuentran en

ese estado, lo que impide en la práctica la reproducción del proceso. Para comprender los procesos, es necesario analizar las características de las superficies, tal como ocurren en la naturaleza. Cualquier superficie examinada en la escala atómica es extremadamente irregular. Está constituida por picos y valles variables entre unos doscientos diámetros atómicos correspondientes a las superficies más perfectas que el hombre puede preparar, hasta cien mil diámetros atómicos para superficies desbastadas. Dado que estas irregularidades se encuentran distribuidas al azar, es sumamente improbable que poco más que algunos átomos se pongan en contacto íntimo necesario para que experimenten fuerzas de atracción sensibles. Otro impedimento, que se presenta para lograr la soldadura ideal, lo constituye la presencia inevitable de capas de óxido y humedad adheridas a las superficies metálicas. De este análisis surgen las dificultades que se presentan para lograr una unión.

El tamaño medio de estos granos es variable y cada grano está separado de sus vecinos por una zona de transición, que se conoce como límite de grano. Los límites de grano desempeñan un papel importante en la determinación de las propiedades mecánicas de un metal. (Soldexa, pág. 19)

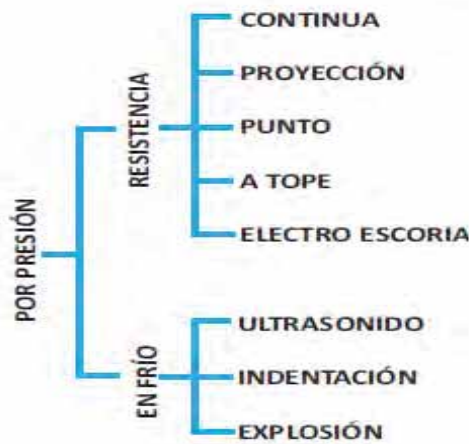
2.5.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA.

2.5.2.1. SOLDADURA POR PRESIÓN.

Consiste en el contacto íntimo de dos superficies metálicas para la producción de una soldadura, es someterlas las mismas a una presión recíproca. Si ésta es de magnitud adecuada, será capaz de romper las capas de óxido y humedad y deformar la superficie, logrando así el contacto necesario. Este proceso puede o no ser asistido por energía térmica, pero debe tenerse en cuenta que, cuando así ocurre, la temperatura del proceso debe mantenerse por debajo del punto de fusión de los materiales que intervienen. El principal efecto del uso de energía térmica es el de reducir la tensión de fluencia de los materiales que se sueldan, así como disociar los óxidos y volatilizar la humedad. (Soldexa, pág. 19)

La clasificación de la soldadura por presión se ve en la figura 2.4

Figura 2. 4 Soldadura por presión



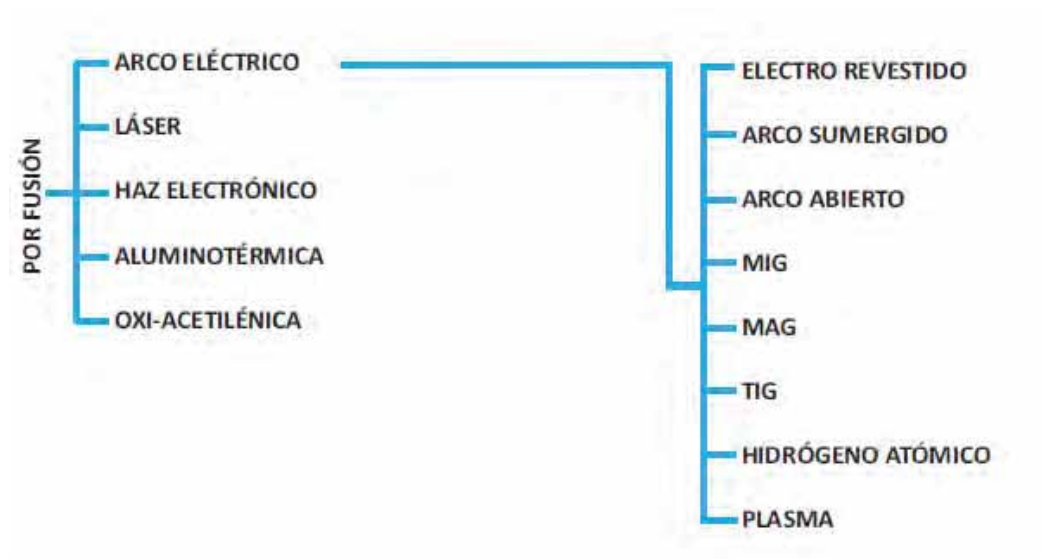
Fuente: Soldexa, Manual de soldadura 7º edición pag. 20

2.5.2.2.SOLDADURA POR FUSIÓN.

Consiste en emplear energía térmica para fundir localmente los metales que se deseen unir y, de esta manera, lograr la eliminación de las capas mencionadas y el íntimo contacto de las piezas por la fusión y solidificación de los materiales en contacto. Son múltiples las posibilidades de aplicación de estos procesos de soldadura. Su campo de aplicación depende, entre otras cosas, del material a soldar, de su espesor, de los requisitos que debe satisfacer la costura, y de la construcción. La multiplicidad de la ejecución de la costura, tanto en la forma como en el método y las aplicaciones, ha conducido al desarrollo de muchos procesos en esa técnica. La selección del proceso más favorable, adecuado y económico de soldadura presupone el conocimiento de la manera de ejecutarla y sus peculiaridades. (Soldexa, pág. 19)

La clasificación de la soldadura por fusión se ve en la figura 2.5

Figura 2. 5 Soldadura por fusión



Fuente: Soldexa, Manual de soldadura 7° edición pag. 20.

2.6.LA SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO.

Es un proceso de soldadura, donde la unión es producida por el calor generado por un arco eléctrico, con o sin aplicación de presión y con o sin metal de aporte. La energía eléctrica se transforma en energía térmica, pudiendo llegar esta energía hasta una temperatura de aprox. 4 000°C. La energía eléctrica es el flujo de electrones a través de un circuito cerrado. Cuando ocurre una pequeña ruptura dentro de cualquier parte, o apertura del circuito, los electrones se mueven a gran velocidad y saltan a través del espacio libre entre los dos terminales, produciendo una chispa eléctrica, con la suficiente presión o voltaje para hacer fluir los electrones continuamente. A través de esta apertura, se forma el arco eléctrico, fundiéndose el metal a medida que se avanza. El arco eléctrico es, por lo tanto, un flujo continuo de electrones a través de un medio gaseoso, que genera luz y calor. (Soldexa, pág. 22)

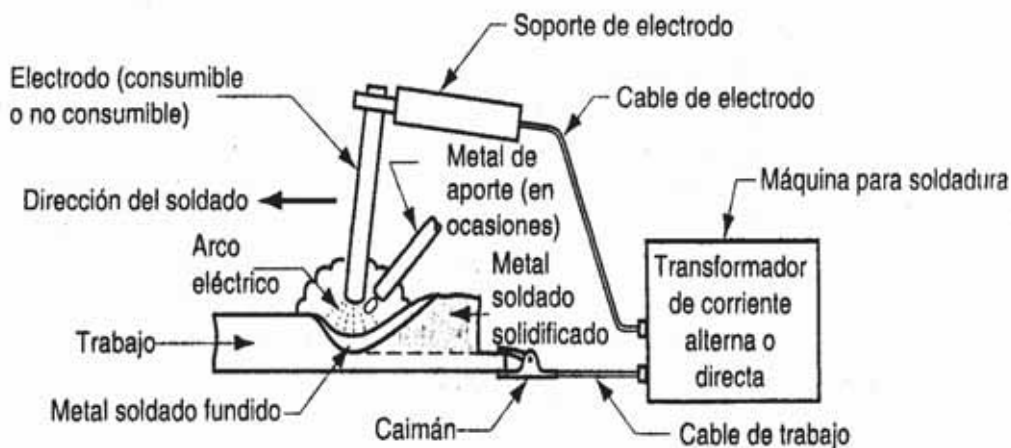
2.6.1. SOLDADURA MANUAL POR ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW).

La soldadura por arco eléctrico manual con electrodo revestido o simplemente “Soldadura Eléctrica”, como la conocemos en nuestro medio, es un proceso de unión por fusión

de piezas metálicas. Para lograr la unión, se concentra el calor de un arco eléctrico establecido entre los bordes de las piezas a soldar y una varilla metálica, llamada electrodo, produciéndose una zona de fusión que, al solidificarse, forma la unión permanente. Principio de funcionamiento de la soldadura por arco eléctrico. (Soldexa, pág. 22)

Las partes del circuito de soldadura se ven en la figura 2.6.

Figura 2.6 Partes del circuito por soldadura eléctrica



Fuente: Riesco German H. (2010). Manual del soldador.

El circuito se cierra momentáneamente, tocando con la punta del electrodo a la pieza de trabajo, y retirándola inmediatamente a una altura preestablecida, formándose de esta manera un arco. El calor funde un área restringida del material base y la punta del electrodo, formando pequeños glóbulos metálicos, cubiertos de escoria líquida, los cuales son transferidos al metal base por fuerzas electromagnéticas, con el resultado de la fusión de dos metales y su solidificación a medida que el arco avanza (Soldexa, pág. 22), según puede verse en la figura 2.7.

Figura 2.7 Proceso de soldadura por arco eléctrico



Fuente: Riesco, German H. (2010). Manual del soldador.

2.6.2. FUNCIÓN DEL ARCO ELÉCTRICO.

El arco es el principio físico de transformar la energía eléctrica en calor. Normalmente cumple la ley de Ohm (Soldexa, pág. 23).

La tensión es igual a la resistencia por la corriente, cuya fórmula es:

$$U = R \times I \quad \text{Ec. 1}$$

La potencia del arco es igual a voltaje por la corriente, cuya fórmula es:

$$P = U \times I \quad \text{Ec. 2}$$

2.6.3. NOCIONES DE ELECTRICIDAD CON RELACIÓN AL ARCO ELÉCTRICO.

Para comprender mejor la aplicación del arco eléctrico a la soldadura, es necesario conocer ciertos principios fundamentales relacionados con la electricidad, entre estas tenemos:

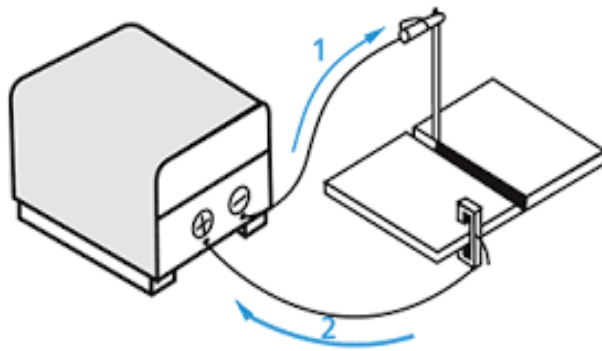
El circuito eléctrico. - La corriente eléctrica es un flujo de electrones que circula por un conductor en un circuito cerrado, denominado circuito eléctrico.

El circuito de soldadura por arco eléctrico.- La corriente fluye partir del borne de la máquina de soldar, donde se fija el cable del electrodo (1), y termina en el borne de la máquina,

donde se fija el cable de tierra o de trabajo (2). Como puede observarse en la Figura 6, a partir del punto (1) la corriente fluye al porta-electrodo y por éste al electrodo; por el extremo del electrodo saltará la electricidad a la pieza formando el arco eléctrico; sigue fluyendo la electricidad por el metal base al cable de tierra (2) y vuelve a la máquina. El circuito está establecido sólo cuando el arco se encuentra encendido. (Soldexa, pág. 23)

- flujo de corriente de salida 1
- flujo de corriente de entrada 2

Figura 2. 8 *Flujo eléctrico*



Fuente: Soldexa, Manual de soldadura 7ª edición pag. 23.

La corriente eléctrica fluye o circula a través de un circuito, si existe una «presión», que impulse el flujo de electrones dentro de un conductor (máquina en funcionamiento). Esta “presión”, que induce una corriente eléctrica, se llama diferencia de potencial, tensión o voltaje. El voltaje se expresa en voltios y se mide con el voltímetro; algunas máquinas de soldar poseen voltímetro y un regulador de voltaje. En igual forma se utiliza, para expresar la magnitud de corriente eléctrica, la cantidad de electricidad por segundo. La unidad utilizada es el Coulomb por segundo, lo que se expresa en Amperios, y se mide con un instrumento llamado amperímetro. (Soldexa, pág. 23)

Todas las máquinas de soldar cuentan con reguladores, que permiten variar el amperaje o intensidad de corriente eléctrica necesaria para soldar.

2.7.RECUBRIMIENTO DURO POR SOLDADURA

El recubrimiento duro o 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 costo de reemplazo de la pieza (Porrás, 2013).

Gracias a las capas de recargue o recubrimiento duro, que se aplican a las piezas por diferentes procesos de soldeo, 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 recubrimiento duro solo en las superficies que requieren protección.

Los recubrimientos duros o protectores por soldadura se emplean para resistir 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, etc.

Por supuesto, cualquiera de las piezas puede requerir varias de las propiedades indicadas, de manera que el material de recargue o recubrimiento duro deberá poseer las distintas cualidades necesarias (Porrás, 2013).

Normalmente no es posible encontrar un electrodo de recargue o recubrimiento duro que reúna al máximo y en forma conjunta a todas las propiedades señaladas. Sin embargo, sabiendo seleccionar el electrodo adecuado, se llega a obtener un resultado satisfactorio (Porrás, 2013).

La dureza (Rockwell o Brinell) del metal depositado por un electrodo de recubrimiento duro o protector es la que generalmente se toma como indicación de las cualidades de resistencia al desgaste. Sin embargo, lo que el grado de dureza realmente nos proporciona es una orientación sobre las propiedades del material depositado, ya que materiales diferentes con el mismo grado de dureza pueden tener reacciones completamente distintas al someterlas a las diferentes condiciones de desgaste de servicio. (Porrás, 2013, pág. 10)

2.7.1. SELECCIÓN DEL ELECTRODO ADECUADO PARA EL RECUBRIMIENTO

DURO.

La selección del electrodo adecuado se inicia con el reconocimiento de los factores que actúan en el desgaste a la que está sujeta la pieza, así como de las exigencias de trabajo a que estará sometida.

Esta determinación inicial se complementa con el estudio de los aspectos siguientes:

- Influencia de la abrasión, rozamiento, corrosión, etc. 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 cubrir.
- Si las características físicas de la pieza a recubrir no se alteran fuertemente por el calentamiento y/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 tres capas de cualquier recargue o recubrimiento duro.

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. (Soldexa, pág. 126)

2.7.2. EL COJÍN O BASE AMORTIGUADORA.

Al aplicar un recubrimiento duro debe haber una relación entre el espesor del metal base y el metal de aporte. Como regla general rige, que se debe aplicar el recubrimiento protector hasta unos 6mm (1/4") de espesor para obtener mejores resultados en cuanto a su duración, ya que al utilizar espesores mayores podría ocasionar una serie de rajaduras o grietas, que propiciarán el desprendimiento del metal depositado.

Las piezas desgastadas en un espesor mayor que 6mm (1/4") tienen que ser reconstruidas hasta su medida original menos 6mm. Esta reconstrucción debe hacerse con electrodos, que depositan un material de menor dureza, como por ejemplo el E7018 (SUPERCITO), o bien con un electrodo para recubrimiento protector de menor dureza, como el AWS A5.13-EFe 1(CITODUR 350).

La función del cojín o base amortiguadora puede explicarse de la siguiente manera:

No siempre un material de gran dureza (ejemplo el A5.13-EFeCr-A8 CITODUR 1000) se “adhiera” firmemente al metal base. Se requiere de un material de dureza intermedia que sirva de “amarre o eslabón” entre uno y otro, es decir entre el metal base y el material de recubrimiento de gran dureza, a fin de disminuir el efecto de dilución. De no ponerse el cojín amortiguador es muy posible, que el material de mayor dureza tenga tendencia a desprenderse antes o en el propio trabajo.

Tal como su nombre indica “cojín o base amortiguadora” es el material de soldadura depositado entre el metal base y la capa de mayor dureza; tiende a absorber y amortiguar golpes, choques o impactos, evitándose así que el depósito se raje, astille o desprenda.

Las indicaciones dadas en la tabla 2.2 deben ser tomadas únicamente como orientación cualitativa a base de números, cuyo significado esta debajo de la tabla 2.2:

(Soldexa, págs. 127,128)

2.7.3. TIPOS DE CORRIENTE ELÉCTRICA.

2.7.3.1.CORRIENTE ALTERNA (CA)

El flujo de corriente varía de una dirección a la opuesta. Este cambio de dirección se efectúa 100 a 120 veces por segundo. El tiempo comprendido entre los cambios de dirección positiva o negativa se conoce con los nombres de ciclo o período (50 a 60 ciclos). En el Perú utilizamos, por lo general, la corriente alterna de 220 voltios y 60 ciclos. Esta corriente es transportada por redes eléctricas monofásicas que utilizan 2 cables, o bien es conducida por redes eléctricas trifásicas, que utilizan 3 cables de transportación. Las máquinas de soldar pueden utilizar tanto la corriente monofásica como la trifásica. (Soldexa, pág. 23)

2.7.3.2.CORRIENTE CONTINUA (CC).

El flujo de corriente conserva siempre una misma dirección: del polo negativo al positivo.

La polaridad En la corriente continua es importante saber la dirección del flujo de corriente expresada en término de polaridad. Si el cable del porta- electrodo es conectado al polo negativo (-) de la fuente de poder y el cable de tierra al polo positivo (+), el circuito es denominado polaridad directa o normal; cuando el cable del porta-electrodo es conectado al polo positivo (+) de la fuente de poder y el cable de tierra al polo negativo, el circuito es denominado polaridad invertida o indirecta. En algunas máquinas no es necesario cambiar los cables en los bornes, porque poseen una manija o llave de conmutación que permite cambiar de polaridad con facilidad. En una máquina de corriente alterna no es posible diferenciar los cables por sus

conexiones de grapa y porta electrodo porque la electricidad fluye por ellos alternando su sentido o dirección. Un soldador debe estar familiarizado con los efectos de la polaridad en el proceso de soldadura, generalmente el electrodo conectado al polo positivo (polaridad invertida) permite una mayor penetración y el electrodo conectado al negativo (polaridad directa) da una mayor velocidad de fusión. Sin embargo, los componentes químicos del revestimiento del electrodo pueden hacer variar los efectos de la polaridad y, por ello, es conveniente seguir las instrucciones del fabricante para conectar el electrodo correctamente, ya sea al polo positivo o negativo. Cuando se suelda con un electrodo, debe usarse siempre la polaridad correcta para obtener los resultados satisfactorios que se esperan: buena penetración, aspecto uniforme del cordón, excelente resistencia de la junta soldada. (Soldexa, pág. 23)

2.7.4. VARIABLES DE LA SOLDADURA MANUAL POR ARCO ELÉCTRICO.

En todo proceso de soldadura se tiene que tomar en cuenta las variables más importantes que nos permita obtener buenos resultados en el proceso de soldadura.

Entre las variables más importantes de ejecución de la soldadura tenemos:

- Selección del electrodo.
- Amperaje correcto.
- Longitud de arco adecuado.
- Ángulo de inclinación apropiado.
- Velocidad de avance apropiado.
- Juntas limpias, libres de grasa, óxido y aceite.

Referente a la micro estructura de la zona soldada está compuesta del metal base y del electrodo o material de aporte, el porcentaje que deben intervenir estos en la unión soldada es de 30 a 50% del metal base y de un 70 a 50% del electrodo. Al solidificarse el metal de la unión soldada se produce la cristalización primaria (cambio de fase de líquido a sólido). En resumen, podemos decir que en la unión soldada ocurren diferentes procesos siendo los más importantes:

- Modificación micro estructural en el ZAC (zona afectada por el calor).
- Cambios químicos.
- Precipitación de fases o compuestos del metal base.
- Transformación de fases o tratamientos térmicos.

2.7.5. SELECCIÓN DE ELECTRODOS PARA LA SOLDADURA MANUAL POR ARCO ELÉCTRICO.

Es muy importante seleccionar correctamente el tipo y diámetro del electrodo, para este tipo de soldadura. Los resultados satisfactorios en una soldadura dependen en gran parte de la adecuada selección del electrodo, esta selección puede hacerse, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Clase de equipo o máquina de soldar.
- Clase de material a soldar.
- Posición de la soldadura e Espesor y dimensiones de la pieza de trabajo.
- Aspecto deseado del cordón.
- Clase de escoria y adherencia al metal.
- Aprobación de los electrodos.
- Propiedades específicas que debe poseer el cordón de soldadura.

El electrodo es llamado también material de aporte, varillas, etc. Técnicamente sería difícil seleccionar el material de aporte entre la gran variedad de marcas y tipos de electrodos para cada tipo de trabajo de soldadura (Soldexa, pág. 65), si no existieran adecuados sistemas de normalización para estos materiales se muestran en la tabla 2.3.

2.7.6. PARTES DE UN ELECTRODO USADO EN LA SOLDADURA MANUAL POR ARCO ELÉCTRICO.

Los electrodos de la soldadura eléctrica manual, están compuestos de un núcleo metálico y un revestimiento químico.

2.7.6.1.NÚCLEO DEL ELECTRODO.

Es una varilla metálica con una definida composición química para cada metal a que está destinado. Los componentes del núcleo son: hierro, carbono, manganeso, silicio, fósforo, azufre y otros, proporcionan diferentes propiedades y características a la junta soldada, donde el núcleo metálico constituye la base del material de aporte, es transferido a la pieza en forma de gotas impulsado por la fuerza del arco eléctrico. (Soldexa, pág. 41)

Tabla 2.3 Normas internacionales de soldadura

PAÍS	NORMA
EE.UU.	AWS (sociedad americana de soldadura)
ALEMANIA	DIN (normas de la industria alemana)
PERÚ	ITINTEC (Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas)

Fuente: Riesco German (2010). Manual de soldadura.

2.7.6.2.REVESTIMIENTO DEL ELECTRODO.

Es una capa protectora o que cubre el núcleo metálico, es un compuesto de composición química definida para cada tipo de electrodo, donde el revestimiento del electrodo cumple funciones indispensables y decisivas en la ejecución y calidad de la soldadura (Soldexa, pág. 41).

- Funciones eléctricas del revestimiento.
- Funciones metalúrgicas del revestimiento.
- Funciones mecánicas del revestimiento.

2.7.7. AMPERAJE CORRECTO.

La regulación de la máquina es de suma importancia para obtener buenas juntas de soldadura. A cada diámetro de los electrodos corresponde una determinada escala de amperaje,

desde un amperaje mínimo hasta un amperaje máximo. El soldador debe encontrar el amperaje adecuado para su trabajo, regulando la máquina de soldar.

Un amperaje insuficiente, dificulta mantener el arco, produce abultamiento del material y mala penetración.

Un amperaje excesivo, tiene como consecuencia un cordón y con porosidades, produce recalentamiento del electrodo, mucha salpicadura y puede ser perforada la plancha por el excesivo amperaje.

La dilatación y contracción ocasionan serios problemas al soldar. Para lo cual se tiene la tabla 2.4 relacionado entre el espesor de la plancha (Soldexa, pág. 65), el diámetro del electrodo y el amperaje sugerido en la tabla 2.4.

Tabla 2. 4 *Relación entre espesor de plancha, electrodo y amperaje*

Espesor de Plancha	Diámetro del Electrodo	Amperaje sugerido
3.03	3.17	90 - 100
2.65	3.17	80 - 100
2.30	2.38	45 - 65
1.89	2.38	25 - 45
1.51	1.59	20 - 30

Fuente: American Welding Society (2005). Manual de soldadura.

2.7.8. LONGITUD DE ARCO ADECUADO.

La longitud del arco, aunque no es posible determinarla en milímetros o fracciones de pulgada, pero si se puede medir por los resultados de deposición del metal, o sea por la forma del cordón y mediante el comportamiento del arco.

Una longitud de arco muy corta produce cordones con sopladuras e inclusiones de escoria, de poca penetración, gruesas e irregulares, el arco llega a interrumpirse como también el electrodo muestra tendencias a pegarse al metal base.

Una longitud de arco muy larga trae como consecuencia un exceso de salpicaduras, la penetración es insuficiente, el cordón presenta sobre montones y de un ancho nada adecuado, además de ello el cordón presenta porosidades.

Para obtener una longitud de arco adecuada, se debe, considerar o mantener un arco corto no mayor de 1/8", o en su efecto más alto del espesor del alma del electrodo que se esté utilizando en el momento de practicar la soldadura, es recomendable utilizar una correcta regulación del amperaje de acuerdo al espesor del metal base y el tipo de electrodo (Soldexa, pág. 65).

2.7.9. ANGULO DE INCLINACIÓN.

El ángulo de inclinación del electrodo con respecto a la pieza de trabajo influye sobre la forma y aspecto del cordón, de ahí la importancia de trabajar con un ángulo de inclinación correcto.

Un ángulo demasiado cerrado, trae como consecuencia una deposición excesiva del metal de aporte, la mala conformación del cordón y una penetración inadecuada.

Un ángulo demasiado abierto produce ondulaciones pronunciadas en el cordón con formación de crestas. El cordón resulta irregular, porque por acción del soplado la escoria es expulsada y no recubre bien.

El ángulo apropiado para no tener problemas de penetración, cordones achatados o con picos, se debe considerar un ángulo entre 65° a 80° el más apropiado sería el promedio de los dos ángulos, para una soldadura en forma horizontal (Soldexa, pág. 65).

2.7.10. VELOCIDAD DE AVANCE.

Una lenta o excesiva velocidad de avance del electrodo produce defectos en la soldadura, razón para buscar un avance apropiado que produzca buenas juntas soldadas.

Una velocidad muy lenta produce abultamiento del metal de deposición, desbordándose sobre la plancha, produce incrustaciones de escoria en la junta y recalienta el metal base.

Una velocidad excesiva produce un cordón delgado, de aspecto fibroso, con penetración, y muchas porosidades.

El avance normal es cuando el soldador controla la velocidad de avance, que este, estará controlado por la penetración y estética, de tal manera no sea un cordón bastante grueso, ni un cordón muy delgado. El técnico soldador debe saber el espesor adecuado para dicho trabajo, de tal manera que se debe considerar principalmente la longitud de arco, velocidad de avance y demás factores (Soldexa, pág. 65).

2.8.RECUBRIMIENTO DURO POR SOLDADURA

El recubrimiento duro o 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 costo de reemplazo de la pieza (Porrás, 2013).

Gracias a las capas de recargue o recubrimiento duro, que se aplican a las piezas por diferentes procesos de soldeo, 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 recubrimiento duro solo en las superficies que requieren protección.

Los recubrimientos duros o protectores por soldadura se emplean para resistir 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, etc.

Por supuesto, cualquiera de las piezas puede requerir varias de las propiedades indicadas, de manera que el material de recargue o recubrimiento duro deberá poseer las distintas cualidades necesarias (Porras, 2013).

Normalmente no es posible encontrar un electrodo de recargue o recubrimiento duro que reúna al máximo y en forma conjunta a todas las propiedades señaladas. Sin embargo, sabiendo seleccionar el electrodo adecuado, se llega a obtener un resultado satisfactorio (Porras, 2013).

La dureza (Rockwell o Brinell) del metal depositado por un electrodo de recubrimiento duro o protector es la que generalmente se toma como indicación de las cualidades de resistencia al desgaste. Sin embargo, lo que el grado de dureza realmente nos proporciona es una orientación sobre las propiedades del material depositado, ya que materiales diferentes con el mismo grado de dureza pueden tener reacciones completamente distintas al someterlas a las diferentes condiciones de desgaste de servicio. (Porras, 2013, pág. 10)

2.8.1. SELECCIÓN DEL ELECTRODO ADECUADO PARA EL RECUBRIMIENTO DURO.

La selección del electrodo adecuado se inicia con el reconocimiento de los factores que actúan en el desgaste a la que está sujeta la pieza, así como de las exigencias de trabajo a que estará sometida.

Esta determinación inicial se complementa con el estudio de los aspectos siguientes:

- Influencia de la abrasión, rozamiento, corrosión, etc. 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 cubrir.
- Si las características físicas de la pieza a recubrir no se alteran fuertemente por el calentamiento y/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 tres capas de cualquier recargue o recubrimiento duro.

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. (Soldexa, pág. 126)

2.8.2. ELECTRODOS CONVENCIONALES PARA RECUBRIMIENTOS DUROS.

- **E7018 (SUPERCITO):** Electrodo revestido de tipo básico, de bajo hidrogeno con extraordinarias características mecánicas de soldabilidad. Presenta un arco muy suave, bajo nivel de salpicadura y la escoria es de muy fácil remoción. El contenido de hierro en polvo mejora su tasa de depósito. Dentro de su categoría es el producto que presenta los mejores niveles de resistencia a la tracción. (Soldexa, pág. 160)
- **AWS A5.13-EFe 1 (CITODUR 350):** Aplicable cuando la pieza sufre desgaste por golpes e impactos, así como por rozamiento metálico moderado. Su depósito es una excelente base amortiguadora, o cojín para recubrimientos de mayor dureza. (Soldexa, pág. 127)

- **AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600):** Excelente para proteger piezas sujetas a desgaste por efecto combinado de la abrasión, rozamiento metálico, golpes e impactos. (Soldexa, pág. 127)
- **AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600 Mn):** Electrodo de buena resistencia al impacto y abrasión severa, diseñado para la minería aurífera. Su depósito está conformado por una estructura perfectamente equilibrada, en donde predomina los carburos de cromo. Por su dureza los depósitos no son maquinables. El contenido de manganeso en el depósito le incrementa su dureza por impactos severos. (Soldexa, pág. 127)
- **AWS A5.13-EFeCr-A8 (CITODUR 1000):** Sus depósitos soportan la abrasión y el rozamiento metálico severo, aun a temperaturas elevadas y en presencia de ambiente corrosivos. No deben someterse a golpes e impactos en ningún caso. (Soldexa, pág. 127)

2.8.3. INDICACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS

DUROS.

Hay que poner atención para lograr una superficie del metal base bien limpia, antes de depositar el material de recargue. Es necesario remover la herrumbre, las escamas de óxido, las grasas y la suciedad que pueda tener.

Esta limpieza se efectúa preferentemente mediante el esmerilado; pero si esto no fuera posible, podrá hacerse con cepillos de alambre.

Cuando hay que aplicar el recubrimiento duro a ranuras o acanaladuras y a cantos relativamente delgados, es necesario redondear sus bordes o puntas, para evitar un sobrecalentamiento localizado o el requemado de bordes y cantos.

En la mayoría de los casos no se requiere un precalentamiento de las piezas para depositar un buen recargue. Sin embargo, el precalentamiento es deseable, cuando ha de soldarse aceros con un contenido de carbono mayor al 0.45%. la excepción de esta regla son

los aceros fundidos con alto manganeso, que siempre deben mantenerse fríos durante la soldadura.

Es necesario poner un cuidado especial en la remoción de la escoria de la capa de soldadura ya terminada, para evitar que la misma quede atrapada por las capas subsiguientes o contiguas.

Si se emplea el procedimiento correcto para soldar, no habrá necesidad de recubrir el relleno o parchado de las capas depositadas. En caso de que sea necesario hacer tal operación, debe hacerse mientras que el metal depositado este aún caliente. Si se ha dejado enfriar antes de proceder a su remedio, habrá que calentar nuevamente la pieza, ya que en caso contrario podrían producirse grietas.

Emplear un arco corto sin tocar el baño de fusión.

Al soldar con arco eléctrico existe la tendencia natural que el borde depositado quede romo o redondeado. Si esta circunstancia no es deseable, se puede utilizar barras limitadoras hechas con grafito o cobre para dar forma al metal aportado.

Antes de aplicar los diversos tipos de electrodos, se recomienda leer siempre las instrucciones correspondientes, por cuanto su aplicación puede requerir de indicaciones más precisas y detalladas. (Porras, 2013, pág. 23)

2.9.MÁQUINAS DE SOLDAR POR ARCO ELÉCTRICO.

Son máquinas eléctricas, de las cuales se exige además de la suficiente potencia, las características favorables y necesarias para el fácil encendido y mantenimiento del arco eléctrico, características que son indispensables para una buena soldadura.

Estas características son:

Transformar el voltaje de la red eléctrica a un voltaje en vacío, que permita iniciar el arco (voltaje en vacío es el que suministra la máquina antes de iniciar el arco; varía de 30 a 90 voltios).

Una vez iniciado el arco, debe permitir una conversión automática e instantánea del voltaje en vacío a voltaje de trabajo, que permita mantener el arco (voltaje de trabajo es el que proporciona la máquina cuando el arco está encendido; varía de 17 a 45 voltios).

Permitir la regulación de la intensidad de corriente o amperaje necesario para soldar; ese amperaje varía según el diámetro, espesor de la pieza, posición del trabajo, diámetro del electrodo, etc.

Asegurar una alimentación constante de corriente, que permita mantener el arco estable. Además de las características señaladas, una fuente de poder o máquina de soldar debe reunir las condiciones de resistencia y solidez, que le permita trabajar aun estando sometida a las más duras exigencias y según las condiciones en que se desenvuelve la labor del soldador (Soldexa, pág. 24).

2.9.1. CLASES DE MÁQUINAS DE SOLDAR POR ARCO ELÉCTRICO.

Las máquinas de soldar son clasificadas con diferentes criterios. Adoptaremos la siguiente clasificación:

2.9.1.1. MÁQUINAS ESTÁTICAS.

Las máquinas estáticas son las que no poseen elementos en movimiento continuo, excepcionalmente algunas poseen un ventilador, así tenemos:

- Máquinas tipo transformador. - Proporcionan corriente alterna para soldar.
- Máquinas tipo rectificador. -Son máquinas transformadoras que, mediante rectificadoras, transforman la corriente alterna a corriente continua para soldar.
- Máquinas transformador-rectificador. -Estas máquinas proporcionan tanto corriente continuo como corriente alterna para soldar. Su construcción eléctrica especial permite cambiar de una corriente a otra con sólo mover una llave de conmutación (Soldexa, pág. 24).

2.9.1.2.MÁQUINAS ROTATIVAS (CONVERTIDORES).

Las máquinas rotativas o convertidores están compuestas básicamente de un motor, que proporciona una determinada velocidad de rotación a un dínamo, el cual produce la corriente eléctrica apropiada para soldar (Soldexa, pág. 24). El motor puede ser:

- Eléctrico, funcionando con la corriente eléctrica proveniente de una red general de electricidad.
- De combustión, sea gasolina o petróleo. Las moto-soldadoras son máquina utilizadas preferentemente en los lugares que carecen de una red general electricidad

2.9.1.3.MÁQUINAS INVERSORAS.

Son máquinas que también convierten la corriente alterna de la red en corriente continua, pero en lugar de emplear un transformador-rectificador, la conversión se efectúa mediante una placa electrónica. Por ello, muchos conocen esta tecnología como “soldadura digital”.

El principio de funcionamiento del inversor para soldadura es que la frecuencia de 50-60 Hz de la corriente alterna que proviene de la red eléctrica se incrementa considerablemente, entre 20.000 Hz y 50.000 Hz. Una mayor frecuencia implica el uso de un transformador de menor tamaño, lo cual permite la fabricación de fuentes de energía más pequeñas y livianas.

Son equipos capaces de transformar la energía eléctrica continua en energía eléctrica alterna, sin que implique una determinada forma de onda-frecuencia. (Riesco, pág. 54)

2.9.2. CICLO DE TRABAJO.

Es indudable, que no todos los procesos de soldadura impondrán la misma demanda a una fuente. Por ejemplo, en los procesos automáticos el tiempo de arco (tiempo real de la soldadura) será mucho mayor que en los procesos normales, en los cuales la fatiga del operador, la necesidad de cambio de electrodo, etc. hacen necesario frecuentes interrupciones. Por este motivo, es usual definir un "CICLO DE TRABAJO" como el porcentaje de tiempo, durante el cual la máquina debe suministrar corriente nominal a la carga. Este ciclo de trabajo se determina

sobre 10 minutos, de modo tal que, por ejemplo, para una fuente con un ciclo de trabajo del 60%, la misma debe ser capaz de entregar la corriente nominal durante 6 minutos de cada 10. Para procesos automáticos, el ciclo de trabajo se especifica normalmente en 100% (Soldexa, pág. 25).

2.9.3. TIPOS DE JUNTAS Y POSICIONES DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO.

Existe gran variedad de tipos de juntas y son varias las posiciones, en las cuales puede realizarse una soldadura. La figura 2.9, muestra la variedad de juntas tal como aparecen en los trabajos de soldadura (Soldexa, pág. 51).

2.9.3.1.LA JUNTA Y SU FINALIDAD.

La junta es la parte a rellenar de metal situada entre dos o más planchas o piezas, que tienen los bordes convenientemente preparados.

La finalidad de la preparación de la junta es asegurar la penetración deseada en la soldadura y facilitar la operación para obtener una unión de excelente calidad.

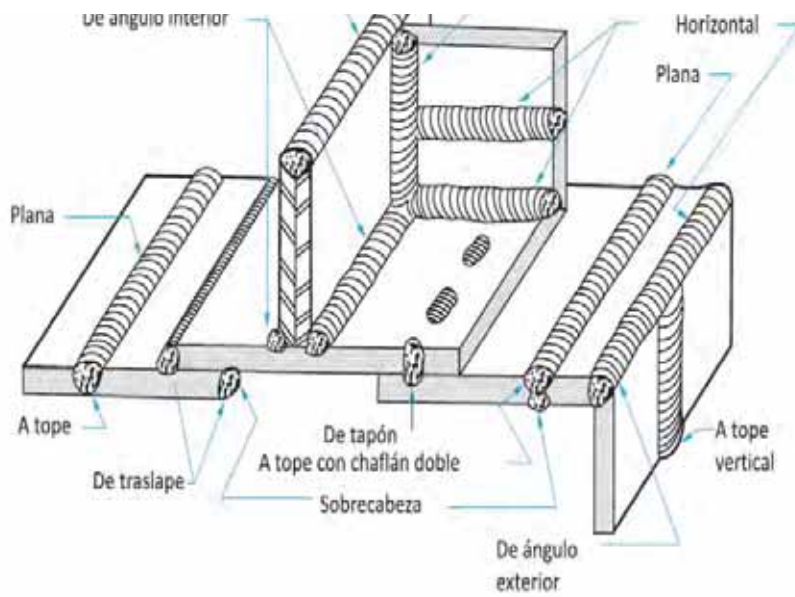
2.9.3.2.MOVIMIENTOS OSCILATORIOS COMUNES.

Cordones anchos y bien formados se consiguen moviendo el electrodo de lado a lado en sentido transversal mientras se avanza. Estos movimientos oscilatorios son mostrados en la figura 2.10.

2.9.4. POSICIONES DE LA SOLDADURA.

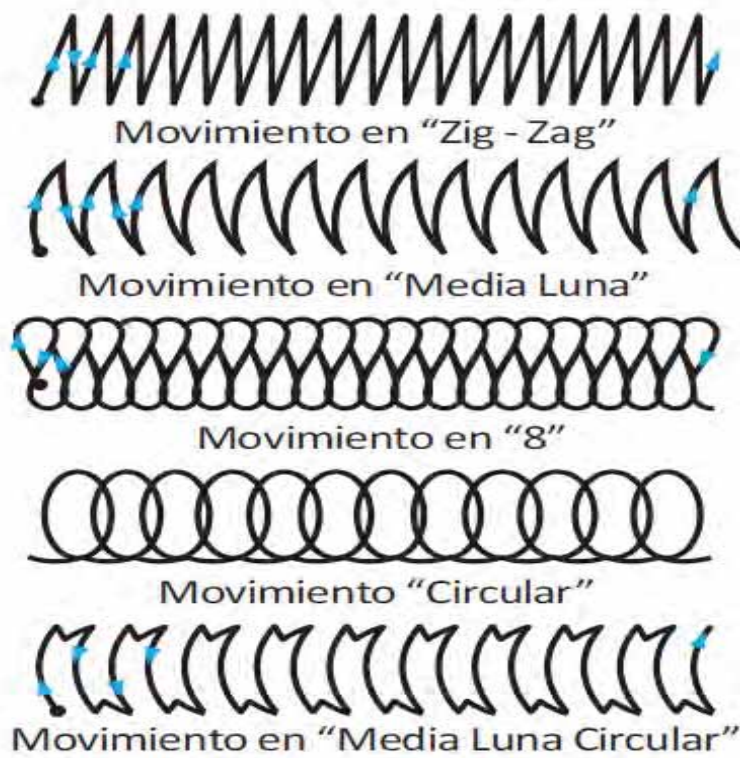
Los trabajos de soldadura, o más propiamente la ejecución de los cordones, pueden realizarse en las posiciones como se ve en la figura 2.9

Figura 2. 9 Diversas juntas y posiciones de soldadura



Fuente: SOLDEXA (2010). Manual de soldadura.

Figura 2. 10 Movimientos oscilatorios comunes

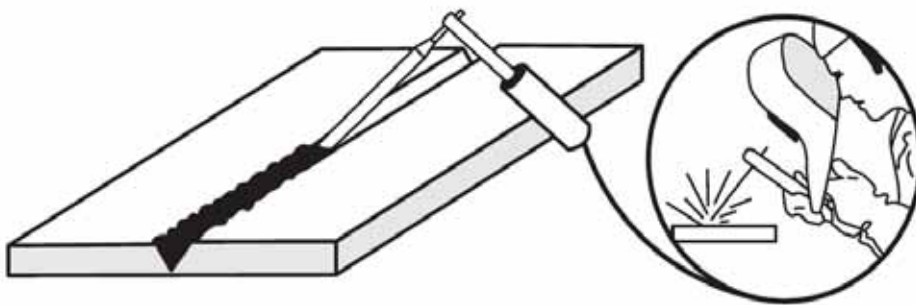


Fuente: SOLDEXA (2010) Manual de soldadura

2.9.4.1.POSICIÓN PLANA (1G).

Es decir, sobre un plano horizontal. La ejecución de cordones en esta posición es más fácil y económica. En lo posible, la pieza debe colocarse de tal forma, que permita la ejecución de los cordones en esta posición (Soldexa, pág. 51). Como se indica en la figura 2.11.

Figura 2. 11 Soldadura en posición plana (1G)

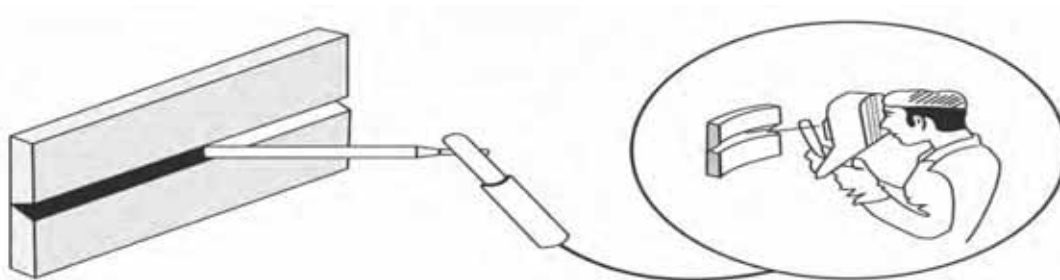


Fuente: SOLDEXA (2010). Manual de soldadura.

2.9.4.2.POSICIÓN HORIZONTAL (2G).

Las planchas están colocadas verticalmente y el cordón se ejecuta horizontalmente (Soldexa, pág. 52), tal como indica la figura 2.12.

Figura 2. 12 Soldadura en posición horizontal (2G)



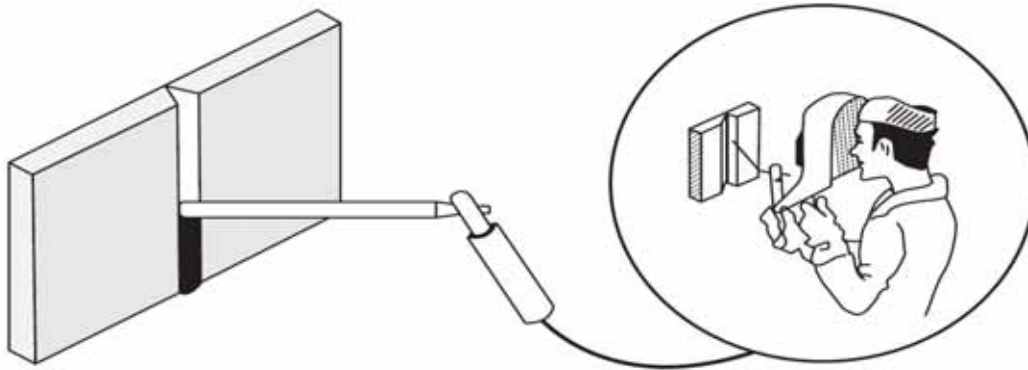
Fuente: SOLDEXA (2010). Manual de soldadura.

2.9.4.3.POSICIÓN VERTICAL (3G)

Las planchas a soldar se encuentran en posición vertical y los cordones también se ejecutan siguiendo la dirección de un eje vertical (Soldexa, pág. 52).

La soldadura puede hacerse en forma ascendente y también sentido descendente en la figura 13

Figura 2. 13 Soldadura en posición vertical (3G)

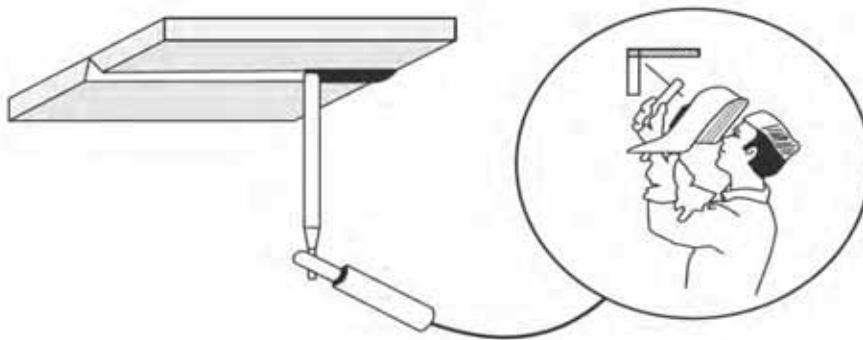


Fuente: SOLDEXA (2010). Manual de soldadura.

2.9.4.4.POSICIÓN SOBRECABEZA (4G).

Es decir, las planchas están colocadas horizontalmente y la soldadura se ejecuta por debajo. Es una posición inversa de la posición plana (Soldexa, pág. 52), como se ve en la figura 14.

Figura 2. 14 Soldadura en posición sobre cabeza



Fuente: SOLDEXA (2010). Manual de soldadura.

2.10. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA DURANTE LA SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO

Las investigaciones han demostrado que la distribución de temperatura en la soldadura por arco eléctrico con electrodos revestidos (SMAW) está influenciada por los siguientes factores (Peralta, 2004, pág. 177):

2.10.1. APORTE DE CALOR (HEAT INPUT).

El aporte de calor es la energía que se genera durante la soldadura.

El aporte de calor se expresa normalmente en términos de Joules por milímetro o Joules por centímetro de soldadura y se define como (Fosca, 2003, pág. 85):

$$H(\text{joules por mm.}) = \frac{V(\text{volt}) \times I(\text{amp})}{v(\text{velocidad en mm. por seg})} \quad \text{Ec. 3}$$

Sin embargo, de toda la energía generada en el proceso de soldadura, solamente una parte es aprovechada para fundir las piezas a unir por soldadura.

La energía o aporte neto viene condicionada por la eficiencia del proceso de soldadura empleada (y, en menor parte, por la posición de soldadura) (Fosca, 2003, pág. 85).

La eficiencia del proceso SMAW es de 70 – 80%.

Así el calor neto viene expresado por la siguiente ecuación:

$$H_{\text{neto}}(\text{joules por mm.}) = \frac{V(\text{volt}) \times I(\text{amp})}{v(\text{velocidad en mm. por seg})} \times f \quad \text{Ec. 4}$$

2.10.2. TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO.

Precalentamiento antes de soldar no es necesario en secciones delgadas, pero en espesores gruesos mayores de 1" (una pulgada) deberá ser de 38°C, para todos los espesores en general, la temperatura nunca será menor de 10°C antes de iniciar cualquier trabajo de soldadura (Fosca, 2003, pág. 86).

2.10.3. GEOMETRÍA DE LA SOLDADURA.

La geometría de la soldadura incluye el espesor de la pieza, la forma y dimensión del depósito de soldadura y el ángulo entre las piezas a unir (Fosca, 2003, pág. 87).

2.10.4. PROPIEDADES TÉRMICAS DEL MATERIAL.

La velocidad con que el calor fluye a través de un cuerpo para un gradiente de temperatura determinado es directamente proporcional a la conductividad térmica e inversamente proporcional al producto de la densidad por el calor específico. Por tanto, el término conductividad, empleado para describir las características térmicas de un material, se define como sigue (Fosca, 2003, pág. 87):

$$k = \frac{K}{\delta C} \quad \text{Ec. 5}$$

2.10.5. DIÁMETRO DEL ELECTRODO.

Este factor es de importancia secundaria, pero influye en el tamaño efectivo de la fuente de calor (Fosca, 2003, pág. 87).

2.11. ZONA AFECTADA POR EL CALOR (ZAC)

Es la zona del material soldado que no ha llegado a fusión, pero ha alcanzado niveles de temperatura que provocan en él importantes cambios microestructurales y modifican sustancialmente sus propiedades mecánicas.

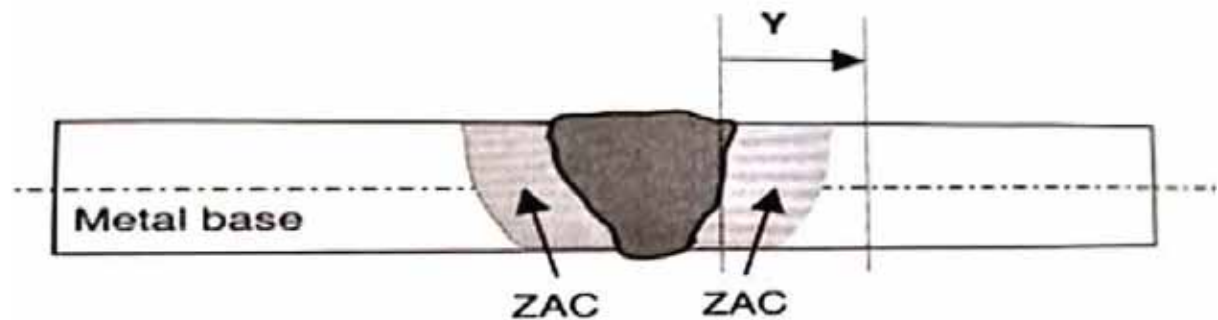
Por ejemplo, en la soldadura a tope con penetración completa y de una sola pasada realizada en plancha (figura 15), la distribución de las temperaturas máximas, en el metal base adyacente (Fosca, 2003, pág. 88), viene dada por la ecuación:

$$\frac{1}{T_{max}-T_0} = \frac{4.13\rho.C.t.Y}{H_{net}} + \frac{1}{T_{fusión}-T_0} \quad \text{Ec. 6}$$

2.11.1. CICLOS TÉRMICOS TÍPICOS EN LA SOLDADURA.

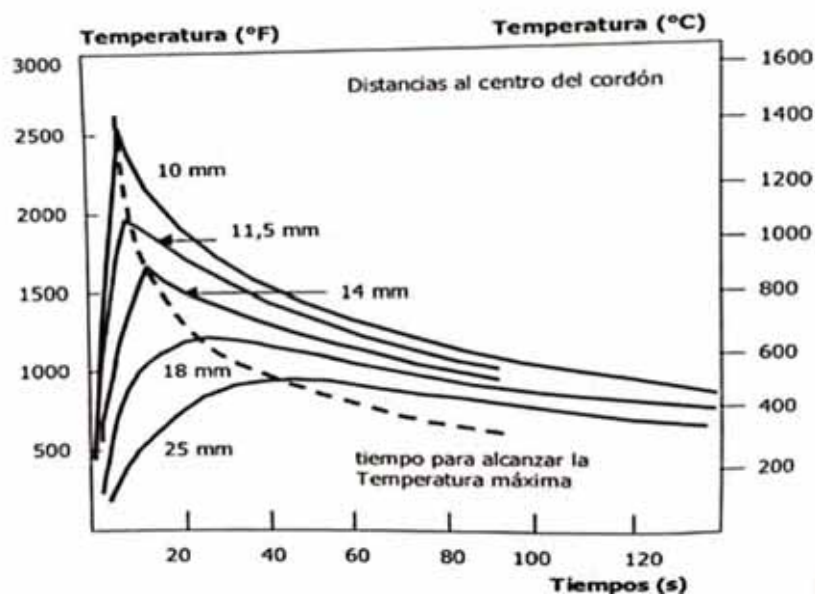
La figura 2.16 muestra casos típicos de ciclos térmicos producidos por soldadura con arco eléctrico en una chapa de 12.5 mm de espesor con un aporte térmico de 3940 Joules/mm y con una temperatura inicial de la chapa de 27°C (temperatura ambiente) (Fosca, 2003, pág. 88).

Figura 2. 15 Soldadura a tope con penetración completa



Fuente: Introducción a la Metalurgia de la Soldadura. Autor. Dr. Carlos Fosca (Pág. 95)

Figura 2. 16 Ciclos térmicos en diferentes lugares de la ZAC.



Fuente: Introducción a la Metalurgia de la Soldadura. Autor. Dr. Carlos Fosca (Pág. 88)

En la figura 2.16, es importante identificar que la curva superior representa el ciclo térmico en un punto situado a 10 mm, del centro del cordón que alcanza una temperatura máxima de 1365°C (2490°F). La curva más baja corresponde al ciclo térmico en un punto ubicado a 25.5 mm, del centro del cordón que alcanza una temperatura máxima de 520°C (960°F). Las curvas intermedias representan los correspondientes ciclos térmicos a distancias de 11.5, 14 y 18 mm desde el centro del cordón.

La observación de las cinco curvas mostradas en la figura 16, que son un modelo típico para todos los procesos de soldadura por arco eléctrico, nos permite advertir que:

La temperatura máxima que se alcanza en un punto disminuye rápidamente con el aumento de la distancia entre el punto y el centro del cordón (a 10 mm del cordón fue de 1365°C, mientras que a 25.5 mm la temperatura máxima era de solo 520°C).

El tiempo necesario para alcanzar en un punto la temperatura máxima aumenta con la distancia desde el punto al centro del cordón (su calentamiento resulta más lento).

Tanto la velocidad de calentamiento como la velocidad de enfriamiento en un punto disminuye con el aumento de la distancia del punto al centro del cordón.

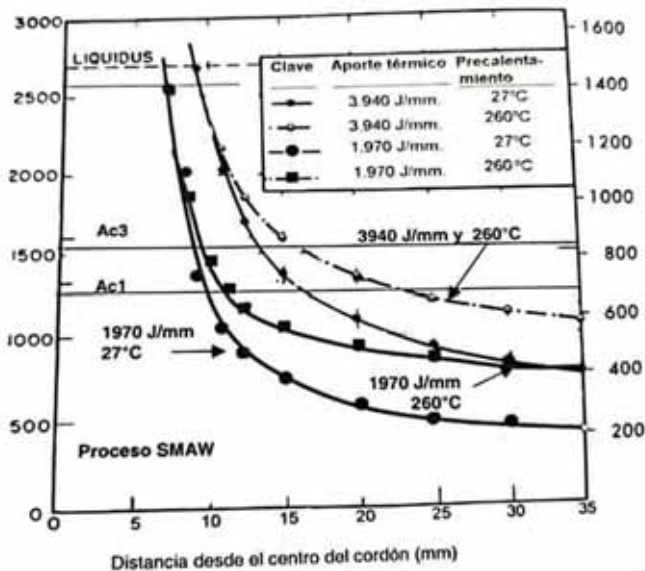
2.11.2. EFECTOS DEL APORTE DE CALOR Y DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO.

Ahora analizamos los efectos del aporte de calor y de la temperatura de precalentamiento sobre la distribución de temperatura en una unión soldada. Para ello vamos a analizar las curvas que se muestran en la figura 2.17. Las dos curvas superiores comparan la distribución de las temperaturas de precalentamiento de 27°C y de 260°C. por su parte, las dos curvas inferiores presentan datos similares para un valor del aporte térmico de 1970 Joules/mm, que es la mitad del aporte térmico anterior.

De lo observado en la figura 2.17, podemos inferir lo siguiente:

Disminuyendo el aporte térmico o bien la temperatura de precalentamiento, se obtiene una distribución de temperaturas máximas en la zona afectada por el calor (ZAC) con mayor pendiente. Esto significa que con menor aporte térmico o con menor temperatura de precalentamiento, se obtiene una mayor velocidad de enfriamiento (Fosca, 2003, pág. 90).

Figura 2. 17 Ciclos térmicos en diferentes zonas de la ZAC para una soldadura SMAW



Fuente: Introducción a la Metalurgia de la Soldadura. Autor. Dr. Carlos Fosca (Pág. 90)

Aumentando el aporte de calor, se produce un significativo aumento en la distancia desde el centro del cordón al punto que experimenta una determinada temperatura máxima para cualquier valor de la temperatura máxima. Esto significa que conforme aumenta el calor de aporte, se ensancha la zona afectada por el calor.

Aumentando la temperatura de precalentamiento, aumenta la zona afectada por el calor (ZAC). Por ejemplo, para las curvas mostradas en la figura 2.17, comparemos las distancias desde el centro del cordón hasta un punto que se encuentra a la temperatura crítica “Ac 1”.

En el acero, los cambios microestructurales importantes se producen cuando este alcanza una temperatura por encima de los 723°C (Ac 1). Por lo tanto, toda la región del acero expuesto a una temperatura por encima de los 723°C sufrirá cambios microestructurales durante su enfriamiento que

alterarán significativamente las propiedades mecánicas de la unión soldada. Esta región es conocida como la zona afectada por el calor (Fosca, 2003, pág. 91).

Tabla 2.5 Resultado de la estimación de la ZAC a partir de las curvas del ciclo térmico de la figura 2.5

Aporte térmico (joules/mm)	Temperatura de Precalentamiento (°C)	Zona afectada por el calor ZAC		
		1480°C (líquido)	723°C (Ac 1)	ZAC ($d_{1480} - d_{123}$)
3940	27	9.4 mm.	15.5 mm.	6.1 mm.
3940	260	9.4 mm.	20.5 mm.	11.1 mm.
1970	27	7.4 mm.	9.4 mm.	2.0 mm.
1970	260	7.4 mm	10.6 mm.	3.2 mm.

Fuente: Introducción a la Metalurgia de la Soldadura. Autor. Dr. Carlos Fosca (Pág. 91)

La ZAC, fácilmente visible en los aceros a través de una macrografía, se extiende desde la zona en el acero que alcanza la temperatura de fusión hasta aquella distancia a la cual se alcanza la temperatura crítica inferior Ac 1 (723°C). Por lo tanto, el ancho de las ZAC para cada una de las cuatro condiciones estudiadas en la figura 2.17 sería de 6.1, 11.1, 2.0, y 3.2 mm. Se ve en la tabla 2.5.

Teniendo en cuenta los resultados que se observan en la figura 2.17, podemos concluir que:

Para una determinada temperatura de precalentamiento, un aumento del aporte térmico causa, por un lado, un incremento del tiempo de exposición a temperaturas cercanas a la máxima y, por otro una disminución en la velocidad de enfriamiento.

Para un determinado aporte térmico, si se aumenta la temperatura de precalentamiento, disminuye la velocidad de enfriamiento, pero no se modifica sensiblemente el tiempo de exposición a temperaturas cercanas a la máxima (observemos en la figura 12.7, como todas las

curvas son muy similares en la región correspondiente a la temperatura máxima) (Fosca, 2003, pág. 91).

2.12.ACERO ASTM A36

El acero ASTM A36 es un material que por sus características y propiedades se ha convertido en el más usado en la industria de la construcción; está compuesto del hierro y en menor presencia el carbón, el cual, no supera el 1,2% en peso de la composición, por lo general, alcanza porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%, lo que facilita el proceso de moldeo de este acero.

Las características de composición son las que clasifican a los materiales en función de los elementos que dominan en cantidad, en función de la facilidad de realizar algunos tratamientos térmicos y de su uso.

El acero es muy utilizado en la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas; por la variedad que presenta y sobre todo por la disponibilidad en el mercado. Una ventaja muy importante de este material es que tienen un comportamiento lineal y elástico hasta la fluencia, lo que hace que sea predecible en las estructuras, y por lo tanto el más usado en la industria.

Al existir una gran variedad de aceros por las características de la composición y de las aleaciones, se ha impuesto ciertas normas que los regulan, estas son impuestas por cada país, cada fabricante de acero, y también por los consumidores de este material.

Las normas reguladoras del acero, más conocidas a nivel internacional, son las clasificaciones de AISI, ASTM, DIN o ISO. Estas normas, indican la cantidad mínima o máxima de cada componente y las propiedades mecánicas que tienen el acero resultante. Por ejemplo, en el sistema que usa el AISI, para aceros con bajo contenido de aleación, AISI XXXX, los dos primeros números indican el contenido de aleación y los dos últimos indican el contenido nominal de carbono en fracciones de 0,01%. A los aceros también se los clasifica por el tratamiento térmico que se les realizó, este es un proceso de calentamiento y enfriamiento

a temperaturas y condiciones determinadas, al que se someten los metales con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la tenacidad. Este proceso no cambia la composición química, pero si los constituyentes estructurales. Los tratamientos térmicos básicos son: el Temple (aumenta la dureza y la resistencia del acero), Revenido (conserva dureza y aumenta tenacidad), Recocido (aumenta la elasticidad y disminuye la dureza) y Normalizado (deja el material en ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono) (Ruiz).

2.12.1. PROPIEDADES MECÁNICAS Y CARACTERISTICAS.

Las propiedades mecánicas son aquellas que tienen que ver con el comportamiento de un material bajo fuerzas aplicadas, estas dependen de la composición química y de la estructura cristalina que tenga, y se expresan en cantidades que están en función de los esfuerzos y/o las deformaciones. Se ven en las tablas 2.6, 2.7 y 2.8 (Mangonon).

A continuación, se definen las principales propiedades mecánicas del acero:

- **Resistencia:** Es la oposición al cambio de forma y a las fuerzas externas que pueden presentarse como cargas de tracción, compresión, cizalle, flexión y torsión.
- **Elasticidad:** Es la capacidad de un cuerpo para volver a su forma inicial al dejar de actuar la fuerza que lo deformó.
- **Plasticidad:** Es la capacidad de deformación de un metal antes que se rompa; si la deformación se produce por alargamiento se denomina ductilidad y por compresión, se llama maleabilidad.
- **Tenacidad:** Es la resistencia a la rotura por esfuerzos que deforman el metal.
- **Dureza:** Es la capacidad que presenta el metal a ser deformado en su superficie por la acción de otro material.
- **Resiliencia:** Es la capacidad que presentan los materiales para absorber energía por unidad de volumen en la zona elástica.

- **Resistencia a la rotura:** Es la resistencia que opone el material a romperse por un esfuerzo mecánico exterior.
- **Fusibilidad:** Es la facilidad de poder dar forma a los metales.
- **Soldabilidad:** Es la facilidad de los metales para que dos piezas en contacto puedan unirse formando un conjunto rígido. Una unión sólida y fuerte es que la soldadura no tenga imperfecciones ni defectos.

Tabla 2. 6 *Propiedades físicas del acero ASTM A36*

PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
Densidad	7850	Kg/m ³
Límite de fluencia	32-36 (250-280)	Ksi (MPa)
Resistencia a la tensión	58 – 80(400-550)	Ksi(MPa)
Modulo de elasticidad	29 000	Ksi
% de elongación mínima	20 (8")	%
Punto de fusión	1538	°C

Fuente: ciencia de materiales “Selección y Diseño”, de Pat. L. Mangonon

Tabla 2. 7 *Propiedades mecánicas del acero ASTM A36*

Designación	Limite elástico (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Alargamiento (%)	
			80 mm	5.55√S ₀
A36	250	400-550	20	23

Fuente: http://www.steelnumber.com/en/steelcomposition_eu.php (s.f.)

Tabla 2. 8 *Composición química del acero ASTM A36*

Elemento	C	Mn	Si	Cr	P	S	Fe
%	0,20	0,8	0.3	-	-	-	98.7

Fuente: metalurgia de la soldadura. Dr Carlos Fosca, pag. 132

2.13. CARBONO EQUIVALENTE

El carbono equivalente (CE) es el índice que permite relacionar la composición química de un acero con su tendencia a presentar estructuras frágiles cuando este es sometido a un proceso de soldadura, siendo el carbono el elemento que más influye en la templabilidad y en la dureza final de un acero. Por tanto, el CE representa una forma de describir la composición química por medio de un solo número, a fin de analizar como las variaciones de la misma influyen en el comportamiento del material (Fosca, 2003, pág. 129).

El cálculo del carbono equivalente brinda la siguiente información:

- La templabilidad.
- La sensibilidad de los aceros a la fisuración en frío (a fin de estimar la temperatura mínima de precalentamiento recomendada o la tolerancia a la fisuración debida al hidrógeno)
- La evaluación de las propiedades durante el servicio (que permita medir a través del CE, por ejemplo, el agrietamiento a causa de los sulfuros o el agrietamiento por corrosión bajo tensiones).
- Existe un gran número de expresiones diferentes para el carbón equivalente se tiene las más empleadas en la actualidad (Fosca, 2003, pág. 129):

1. Formula del CE del IIW (1940)

$$CE_{IIW} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} (\%) \quad \text{Ec. 8}$$

2. Formula del tipo PCM (1968)

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn+Cu+Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad \text{Ec. 9}$$

3. El tipo CE_{MW} , propuesto por Duren (1981)

$$CE_{MW} = C + \frac{Si}{25} + \frac{Mn+Cu}{20} + \frac{Cr}{10} + \frac{Ni}{40} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} \quad \text{Ec. 10}$$

4. La fórmula de CEN, propuesto por Yurioka (1981)

$$CEN = C + A(C) \left(\frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{15} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr+Mo+Nb+V}{5} + 5B \right) \quad \text{Ec. 11}$$

En la que $A(C) = 0.75 + 0.25 \tanh(20(C - 0.12))$

$A(C)$ es un factor de acomodación que se aproxima a 0.5 cuando el % C < 0.08 y a 1 cuando %C > 0.18%.

El criterio que se emplea con el CE es que cuanto más alto sea su valor, el acero tendrá mayor dificultad para ser soldado. Para evitar riesgos de fisuración en frío por la presencia de estructuras frágiles en el cordón de soldadura se recomienda que el CE no sea mayor a 0,35-0,40. Por tanto, se puede clasificar genéricamente la soldabilidad de los aceros en función de su CE (Fosca, 2003, pág. 132):

- Aceros con un CE < 0,2 - 0,3% tienen buena soldabilidad.
- Aceros con un CE > 0,4% tienen riesgo de fisuración en frío en la ZAC.

2.14. DIAGRAMA DE GRAVILLE

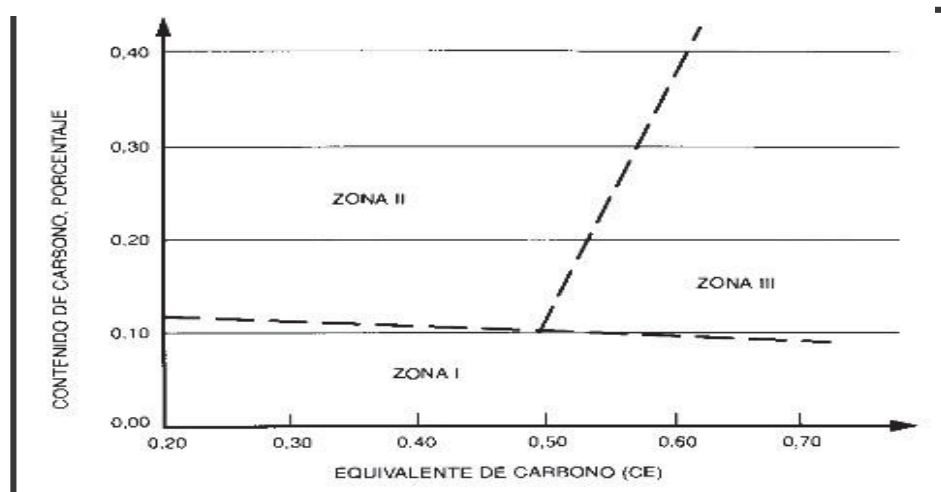
Permite evaluar la necesidad de precalentamiento o de tratamiento térmico.

Las características de comportamiento de cada zona son las siguientes ((AWS), 2010):

- Zona I. “el agrietamiento es improbable, pero puede ocurrir con hidrógeno alto o restricción alta” (AWS D1.1, 2015, pág. 357).

- Zona II. “El método de control de dureza y la dureza seleccionada deberán ser utilizados para determinar la entrada mínima de calor para soldaduras en filete de pasada única sin precalentamiento” (AWS D1.1, 2015, pág. 357).

Figura 2. 18 Diagrama de Graville para la clasificación de aceros



Fuente: ANSI/ AWS D1.1, 2015: 361

- Zona III. Para esta zona “Deberá usarse el método de control de hidrógeno. Donde se restringe la entrada de calor para preservar las propiedades de la ZAC” (AWS D1.1, 2015, pág. 357).

Según el código de soldadura estructural ANSI/ AWS D1.1 los aceros se pueden clasificar su posicionamiento en el diagrama de Graville en la Figura 2.18.

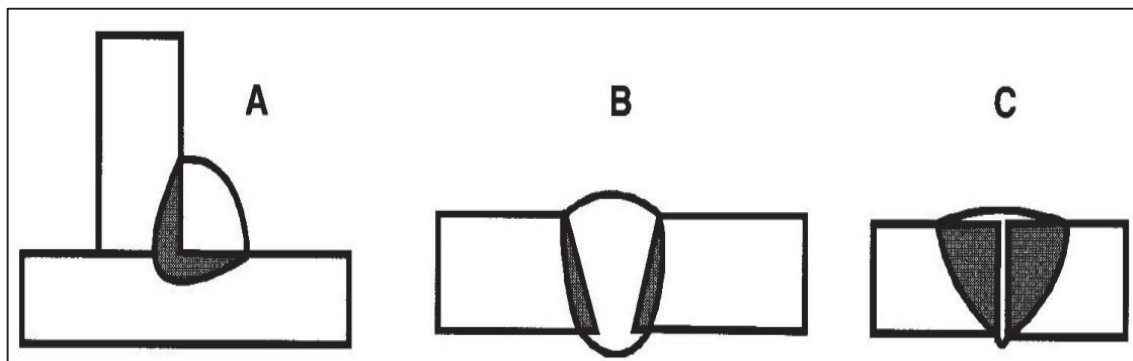
2.15.DILUCIÓN.

La dilución se define como el porcentaje de metal base fundido e incorporado a la soldadura. Es decir, es el peso con el que el metal base contribuye a la composición química del cordón. La dilución depende en gran medida del tipo de junta aplicada. Específicamente el metal de aporte debe ser capaz de aceptar la dilución (aleación) por los metales base, sin producir una microestructura propensa a la fisuración. (Fosca, 2003, pág. 171) ver la Figura 2.19. Donde: A, B y C se presentan uniones soldadas en las que se observan las porciones del

metal base que se han fundido (áreas sombreadas) y, por tanto, han contribuido a la formación de la zona fundida mezclándose con el metal de aporte.

De la figura 2.19 se puede deducir que cuanto mayor sea la región fundida del metal base (área sombreada) en la unión soldada, mayor habrá sido el grado de dilución producido. Vemos, entonces, que la unión “C” presenta un mayor nivel de dilución que las uniones “A” y “B” y esto condicionara la composición química final de la zona fundida.

Figura 2.19 Dilución para diferentes tipos de junta



Fuente: <https://cifpaviles.webcindario.com/U.D%205.pdf> (s.f.)

La dilución se calcula mediante la siguiente formula, tomando en cuenta la figura 2.19

$$\% \text{ Dilución} = \frac{\text{área sombreada}}{\text{área total del cordón de soldadura}} \times 100\% \quad \text{Ec. 12}$$

En cuanto a la composición química del cordón de soldadura es preciso conocer las relaciones de dilución y las composiciones químicas del metal base y de aporte. En ese sentido la composición de un elemento de aleación específico en el cordón de soldadura diluido se calcula mediante la ecuación:

$$X_w = (D_A)(X_A) + (D_B)(X_B) + (1 + D_T)(X_F) \quad \text{Ec. 13}$$

2.16.DUREZA

La dureza es la oposición que ofrecen los materiales a alteraciones como la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes; entre otras. También puede definirse como la cantidad de energía que absorbe un material ante un esfuerzo antes de romperse o deformarse (Mangonon).

2.16.1. ESCALAS DE DUREZA

En metalurgia la dureza se mide utilizando un durómetro para el ensayo de penetración. Dependiendo del tipo de punta empleada y del rango de cargas aplicadas, existen diferentes escalas, adecuadas para distintos rangos de dureza.

El interés de la determinación de la dureza en los aceros estriba en la correlación existente entre la dureza y la resistencia mecánica, siendo un método de ensayo más económico y rápido que el ensayo de tracción, por lo que su uso es muy extendido (Mangonon).

Las escalas de uso industrial son las siguientes:

- **Dureza Brinell:** Emplea como indentador una bola de acero templado o carburo de tungsteno. Para materiales duros, es poco exacta pero fácil de aplicar. Poco precisa con chapas de menos de 6mm de espesor. Estima resistencia a tracción.
- **Dureza Knoop:** Mide la dureza en valores de escala absolutas y se valoran con la profundidad de señales grabadas sobre un mineral mediante un utensilio con una punta de diamante al que se le ejerce una fuerza estándar.
- **Dureza Rockwell:** Se utiliza como indentador un cono de diamante (en algunos casos bola de acero). Es la más extendida, ya que la dureza se obtiene por medición directa y es apto para todo tipo de materiales. Se suele considerar un ensayo no destructivo por el pequeño tamaño de la huella.

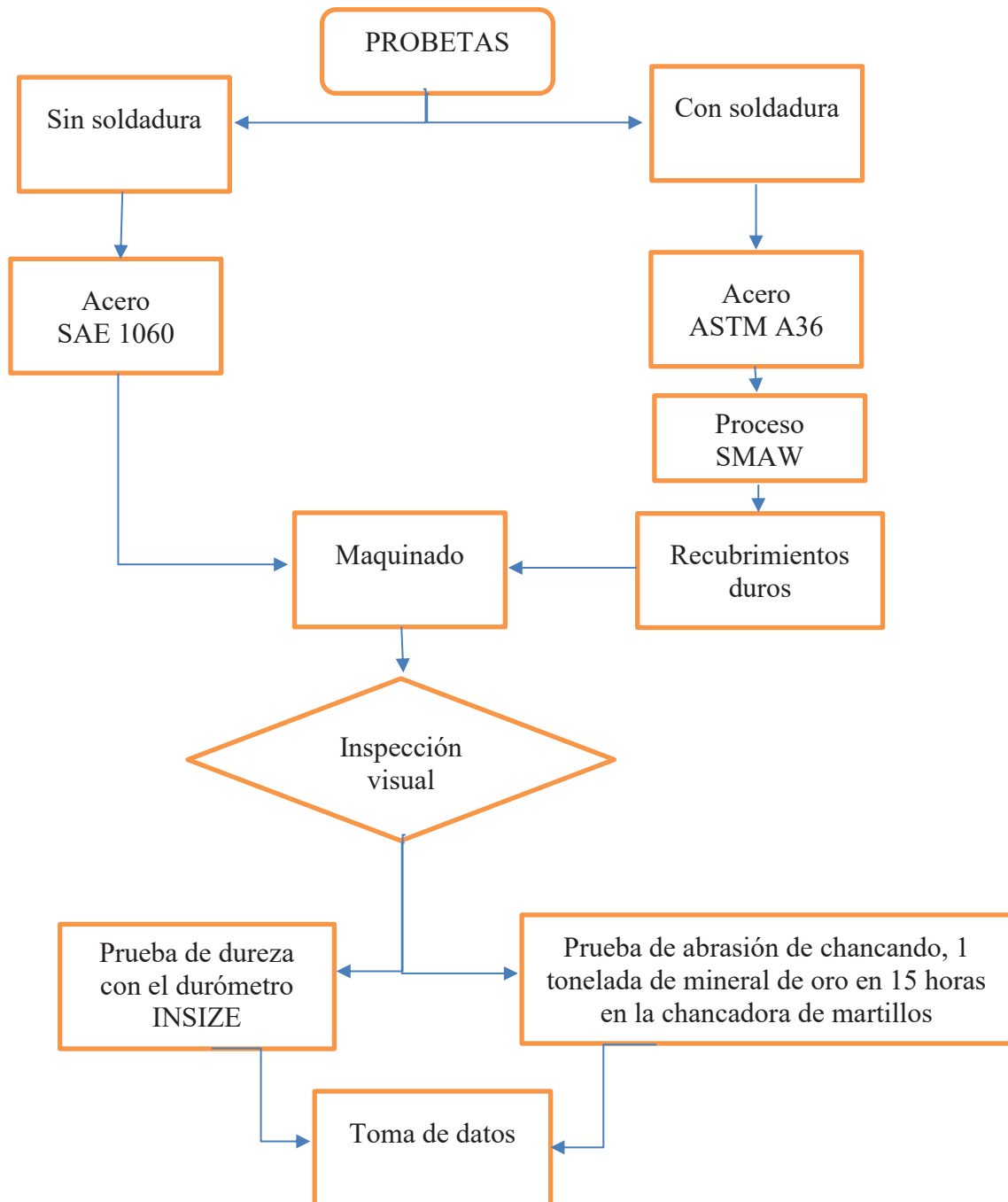
- **Rockwell superficial:** Existe una variante del ensayo, llamada Rockwell superficial, para la caracterización de piezas muy delgadas como cuchillas de afeitador o capas de materiales que han recibido algún tratamiento de endurecimiento superficial.
- **Dureza Rosiwal:** Mide en escalas absolutas de dureza, se expresa como la resistencia a la abrasión medias en pruebas de laboratorio y tomando como base el corindón con un valor de 1000
- **Dureza Shore:** Emplea un escleroscopio. Se deja caer un indentador en la superficie del material y se ve el rebote. Es adimensional, pero consta de varias escalas. A mayor rebote mayor dureza. Aplicable para el control de calidad superficial. Es un método elástico, no de penetración como los otros.
- **Dureza Vikers:** Emplea como penetrador un diamante con forma de pirámide cuadrangular. Para materiales blandos, los valores Vikers coinciden con la de la escala Brinell. Mejora del ensayo Brinell para efectuar ensayos de dureza con chapas de hasta 2 mm de espesor
- **Dureza Webster:** Emplea maquinas manuales en la medición, siendo apta para piezas de difícil manejo como perfiles largos extruidos. El valor obtenido suele convertirse a valores Rockwell.

CAPITULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL

Figura 3. 1 Diagrama de flujo que se siguió en la metodología experimental



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.1, se tiene dos aceros:

- El acero ASTM A36 que fueron recubiertos con diferentes electrodos, que es la parte experimental de la tesis, luego fueron sometidos a pruebas de abrasión y dureza.
- El acero SAE 1060 para comparar el desgaste .

3.2.EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Para el desarrollo de la parte experimental y para los ensayos mecánicos se emplearon los siguientes equipos: máquina de soldar eléctrica, chancadora de martillos artesanal, durómetro, desbastador, pulidor. Cabe indicar que, también se utilizaron instrumentos de medición en desarrollo antes, durante y después del proceso de soldadura, así como otras herramientas menores.

3.2.1. MÁQUINA DE SOLDAR.

Se usó una máquina de soldar de la marca Miller para todo el proceso de soldadura de las probetas, en la figura 3.2, se detallan sus características técnicas.

Figura 3. 2 Características técnicas de la máquina de soldar


Imagen	Descripción	Datos
	Modelo	XMT 425 VS
	Tipo de corriente	Corriente continua (DC)
	Tensión de red (50-60 Hz)	208/460V/3Fs
	Rango de corriente (A)	5 - 425
	Dimensiones (L1xL2xL3) (mm)	610x318x432
	Peso (Kg)	36.6
	Diámetro de electrodos utilizables (mm)	1,6 - 4

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. CHANCADORA DE MARTILLOS ARTESANAL

Se empleó la chancadora de martillos artesanal, en la figura 3.3, se detallan sus características técnicas.

Figura 3. 3 Características técnicas del durómetro

Imagen	Descripción	Datos
	Marca	Nacional
	Voltaje	220 – 380 V
	amperaje	5.7 - 3.3
	Potencia	1.5Kw
	Frecuencia	60 Hz

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. DURÓMETRO INSIZE

Se empleó un durómetro de marca INSIZE, en la figura 3.4, se detallan sus características técnicas.

Figura 3. 4 Características técnicas del durómetro

Imagen	Descripción	Datos
	Marca	INSIZE
	Modelo	Ish phb
	Serie	SN
	Altura máxima de la prueba (mm)	100

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS

se emplearon herramientas e instrumentos de medición, se detallan sus características.

Tabla 3. 1 *Herramientas y características*

Herramientas e instrumentos	Tamaño o capacidad	Marca	Potencia (w)	Aplicación
Amoladora	7 pulg.	Dewalt	20000	Desbaste de bisel
Flexómetro	5 m.	Stanley		medición
Goniómetro	0 – 180°	Tools		Medición de ángulo
Escuadra de tacón	12pulg.	Stanley		Medición
Vernier	12pulg.	Mitutoyo		Medición
Escobilla de acero		Kamasa		Limpieza
Piqueta martillo		Weld500		Limpieza de escoria
Tornillo de banco	8 pulg.	Stanley		Sujeción de probetas

Fuente: Elaboración propia

3.3.MATERIALES DE LA INVESTIGACION

3.3.1. MATERIAL BASE (ASTM A 36)

Se prepararon probetas a partir del acero ASTM A36 de las siguientes dimensiones:

Lado x Ancho x espesor = 92mm x 35mm x 8mm, se ve en la figura 3.5.

Figura 3. 5 *Acero ASTM A36*



Fuente: Elaboración propia

3.3.1.1.DETERMINACION DEL CARBON EQUIVALENTE

De las ecuaciones 8, 10 y 11. Calculamos el carbón equivalente:

$$CE_{IIW} = 0.20 + \frac{0.8}{6} = 0.33\%$$

$$CE_{MW} = 0.20 + \frac{0.3}{25} + \frac{0.8}{20} = 0.25\%$$

$$CEN = 0.20 + 1 \left(\frac{0.3}{24} + \frac{0.8}{6} \right) = 0.34\%$$

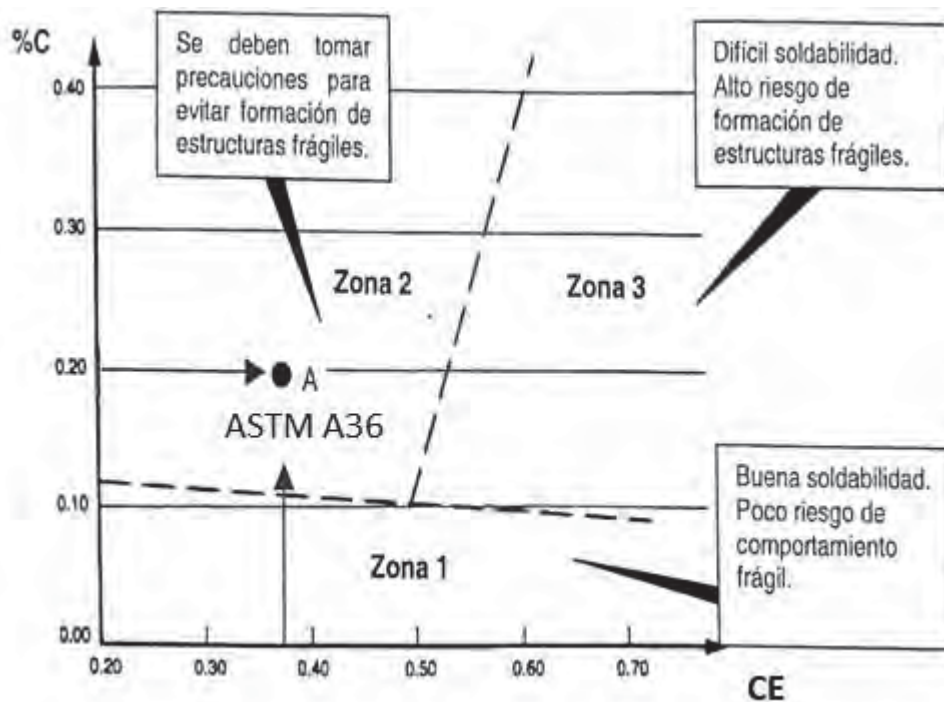
Tabla 3. 2 Carbón Equivalente

Acero	CE_{IIW}	CE_{MW}	CEN
ASTM A36	0.33%	0.25%	0.34%

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 3.6, nos indica que el acero ASTM A36 puede ser soldado sin mayor riesgo de tener estructuras martensíticas, como también nos indica en la figura 3.6 en la zona 2

Figura 3. 6 Zonas del Diagrama De Graville



Fuente: Introducción a la Metalurgia De La Soldadura. Dr carlos fosca, pag 146

3.3.2. MATERIAL DE APORTE

Como material de aporte se empleó los siguientes electrodos

- AWS A5.13-EFe 1 (CITODUR 350) electrodo de recubrimiento para cojín
- AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600) electrodo de recubrimiento duro
- AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600 Mn) electrodo de recubrimiento duro
- AWS A5.13-EFeCr-A8 (CITODUR 1000) electrodo de recubrimiento duro

Tabla 3.3 Análisis químico de los electrodos AWS A5.13-EFe 1, AWS A5.13-EFe3, AWS A5.13-EFe3-Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8.

Electrodos	Análisis químico (%)									
	C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
AWS A5.13-EFe 1	0.20	0.50	0.14	Max 0.020	Max 0.020	-	-	2.90	-	-
AWS A5.13-EFe3	0.50	0.50	0.40	Max 0.020	Max 0.020	0.50	-	6.70	-	0.5% V
AWS A5.13-EFe3-Mn	0.50	1.50	0.40	Max 0.020	Max 0.020	0.50	-	7.00	-	-
AWS A5.13-EFeCr-A8	4.00	1.10	0.60	Max 0.020	Max 0.020	-	-	36.00	-	-

Fuente: manual de soldadura 7ma edición oerlikon pag. 160, 201, 202 y 205

Tabla 3.4 Parámetros de soldeo del recubrimiento de cojín

electrodos	diámetro	mm	3.25	4.00	5.00	6.30
		Pulg.	1/8	5/32	3/16	1/4
AWS A5.13-EFe 1	mínimo		105	120	170	230
	máximo		135	180	240	280

Fuente: manual de soldadura 7ma edición oerlikon pag. 201

Tabla 3. 5 *Parámetros de soldeo de los recubrimientos duros*

Electrodos	mm	3.25	4.00	5.00	6.30
	Pulg.	1/8	5/32	3/16	1/4
AWS A5.13-EFe3	mínimo	100	140	190	230
	máximo	135	180	240	280
AWS A5.13-EFe3-Mn	mínimo		140	190	
	máximo		180	240	
AWS A5.13-EFeCr-A8	mínimo	120	150	180	
	máximo	140	160	230	

Fuente: manual de soldadura 7ma edición oerlikon pag. 202 y 205

Tabla 3. 6 *Propiedades Mecánicas de los electrodos AWS A5.13-EFe 1, AWS A5.13-EFe 3, AWS A5.13-EFe 3-Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8.*

Electrodo	dureza
AWS A5.13-EFe 1	27-30 HRC
AWS A5.13-EFe 3	52-55 HRC
AWS A5.13-EFe 3-Mn	54-62 HRC
AWS A5.13-EFeCr-A8	58-62 HRC

Fuente: manual de soldadura 7ma edición Oerlikon pag. 160, 201, 202 y 205

3.4.PREPARACIÓN DE PROBETAS

La preparación de probetas se realizó en función a los requerimientos de las pruebas mecánicas a las que serán sometidas luego del proceso de soldadura. Las probetas de acero

ASTM A36, se seccionaron a partir de los modelos de los martillos de acero SAE 1060 de la chancadora artesanal. Las probetas se obtuvieron a partir de planchas de acero de 5/16 pulgadas de espesor.

30 probetas se recubrieron con una capa inicial del electrodo AWS A5.13-EFe 1 (CITODUR 350) como cojín, para luego ser recubiertas:

- 10 probetas con una capa final de AWS A5.13-EFe 3 (CITODUR 600).
- 10 probetas con una capa final de AWS A5.13-EFe 3 (CITODUR 600 Mn).
- 10 probetas con una capa final de AWS A5.13-EFeCr-A8 (CITODUR 1000).

con el objetivo de hacer los martillos más resistentes a la abrasión y tenga más tiempo de vida (de servicio) en comparación a los martillos con acero SAE1060.

3.4.1. PROCEDIMIENTO

Para hacer las pruebas experimentales se procedió de la siguiente forma:

- Medición de las dimensiones de los martillos de la chancadora
Lado x Ancho x espesor = (92mm x 35mm x 8mm)

Figura 3. 7 *Martillo de la chancadora*



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 8 Corte del acero ASTM A36



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 9 Acero ASTM A 36



Fuente: Elaboración propia

Se corto la plancha de acero ASTM A36 para empezar el dimensionamiento de los martillos de la chancadora artesanal.

Figura 3. 10 *Marcado del acero ASTM A36*



Fuente: Elaboración propia

Se marco el acero ASTM A36 para la obtención de las probetas a las medidas

Lado x Ancho x espesor = (92mm x 35mm x 8mm)

Figura 3. 11 *Medición de las probetas con Vernier*



Fuente: Elaboración propia

3.4.1.1. MAQUINADO DE PROBETAS

Figura 3. 12 *Perforado de las probetas*



Fuente: Elaboración propia

se perforo las probetas con una broca de 1/4 para la guía del agujero

Figura 3. 13 *Ensanchado del agujero*



Fuente: Elaboración propia

Se ensancho el agujero de las probetas con una broca de 5/8 para fijar a la chancadora de martillo el montaje de los martillos a la chancadora artesanal.

3.4.1.2. SOLDADURA POR EL PROCESO SMAW PARA RECUBRIR CON EL ELECTRODO AWS A5.13-EFE 1 (CITODUR 350)

- Recubrimiento de cojín a todas las probetas

Figura 3. 14 *Recubrimiento de cojín*



Fuente: Elaboración propia

Las probetas de acero ASTM A36 fueron recubiertas con un cojín de soldadura con el electrodo AWS A5.13-EFe 1 (CITODUR 350) con un amperaje de 120 Amp., una velocidad de avance de 2.28 mm/s y una longitud de arco de 4 mm para posteriormente ser recubiertas con electrodos de recubrimientos duros.

Figura 3. 15 *Probeta recubierta con AWS A5.13-EFe 1*



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.15 se muestra el cojín de soldadura libre de escorias.

Figura 3. 16 *Probetas desbastadas recubierta con AWS A5.13-EFe 1*



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.16 se muestra el cojín con una superficie desbastada y libre de escorias que será la cama de el recubrimiento duro.

3.4.1.3. SOLDADURA POR EL PROCESO SMAW PARA RECUBRIMIENTOS DUROS CON LOS ELECTRODOS:

- **Recubrimiento con el electrodo AWS A5.13-EFe3.**

Figura 3. 17 *Recubrimiento con AWS A5.13-EFe3*



Fuente: Elaboración propia

Las probetas de acero ASTM A36 fueron recubiertas con un recubrimiento duro con el electrodo AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600) con un amperaje de 100 Amp., una velocidad de avance de 2.25 mm/s y una longitud de arco de 3.25 mm para posteriormente ser recubiertas con electrodos de recubrimientos duros.

- **Recubrimiento con el electrodo AWS A5.13-EFe3-Mn**

Figura 3. 18 *Recubrimiento con AWS A5.13-EFe3-Mn*



Fuente: Elaboración propia

Las probetas de acero ASTM A36 fueron recubiertas con un recubrimiento duro con el electrodo AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600 Mn) con un amperaje de 140 Amp., una velocidad de avance de 2.25 mm/s y una longitud de arco de 4 mm para posteriormente ser recubiertas con electrodos de recubrimientos duros.

- **Recubrimiento con el electrodo AWS A5.13-EFeCR-A8**

Figura 3. 19 *Recubrimiento con AWS A5.13-EFeCr-A8*



Fuente: Elaboración propia

Las probetas de acero ASTM A36 fueron recubiertas con un recubrimiento duro con el electrodo AWS A5.13-EFeCr-A8 (CITODUR 1000) con un amperaje de 120 Amp., una velocidad de avance de 2.25 mm/s y una longitud de arco de 3.25 mm para posteriormente ser recubiertas con electrodos de recubrimientos duros.

- **ENUMERACIÓN DE LAS PROBETAS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS INDIVIDUALES.**

Figura 3. 20 *Marcado de las probetas*



Fuente: Elaboración propia

3.4.1.4. PRUEBA DE IMPACTO Y ABRASION EN LA CHANCADORA ARTESANAL

Figura 3. 21 Foto de la parte frontal de la chancadora de martillos



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 22 Foto lateral de la chancadora de martillos



Fuente: Elaboración propia

Se hicieron las pruebas de impacto y abrasión en la chancadora artesanal de las figuras 3.21 y 3.22, Se chanco 1 tonelada de mineral en 15 horas (5 horas de trabajo por día) para cada recubrimiento.

Figura 3. 23 Chancadora con martillos de acero SAE 1060



Fuente: Elaboración propia

Se hicieron las pruebas de impacto y abrasión para el acero SAE 1060.

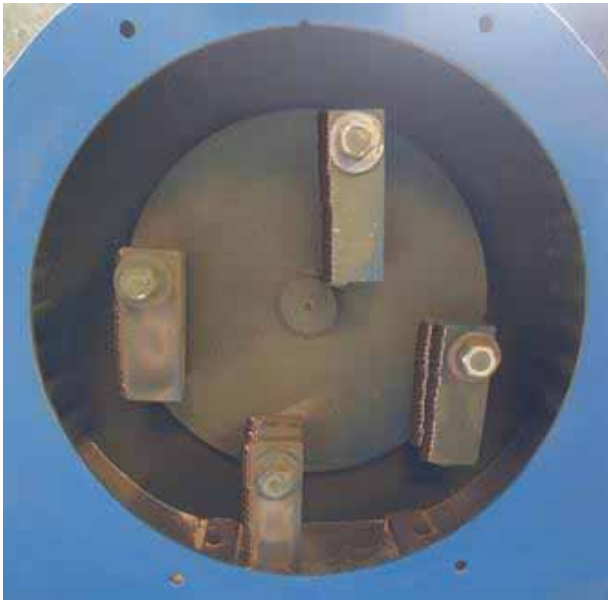
Figura 3. 24 Chancadora de martillos de acero ASTM A36 recubiertos con AWS A5.13-EFe3



Fuente: Elaboración propia

Se hicieron las pruebas de impacto y abrasión para el recubrimiento AWS A5.13-EFe3.

Figura 3. 25 Chancadora de martillos de acero ASTM A36 recubiertos con AWS A5.13-EFe3-Mn



Fuente: Elaboración propia

Se hicieron las pruebas de impacto y abrasión para el recubrimiento AWS A5.13-EFe3 -Mn.

Figura 3. 26 Martillos de acero ASTM A 36 recubiertos con AWS A5.13-EFeCr-A8.



Fuente: Elaboración propia

Se hicieron las pruebas de impacto y abrasión para el recubrimiento AWS A5.13-EFeCr-A8.

Figura 3. 27 Prueba de dureza



Fuente: Elaboración propia

Se hicieron las pruebas de dureza con el durómetro INZISE a todas las probetas

3.4.1.5. TOMA DE DATOS DE LOS RESULTADOS

Figura 3. 28 Recopilación de los datos de las probetas después de las pruebas de abrasión



Fuente: Elaboración propia

Se enumeraron las probetas como se ve en la figura 3.29 para la adecuada toma de datos.

3.5.CÁLCULOS SOLDADURA

3.5.1. VELOCIDAD DE AVANCE

Para determinar la velocidad de avance (v) se necesita:

Tiempo de soldadura (t)

Longitud del cordón (l)

$$v = \frac{l}{t} \quad \text{EC. 13}$$

Tabla 3. 7 Recubrimiento del AWS A5.13-EFe 1 como cojín de los recubrimientos duros

N° PROBETA	Recubrimiento de AWS A5.13-EFe 1 (CITODUR 350)		
	T (s)	Long (mm) largo	Vel. De avance (mm/s)
1	42	92	2.2
2	40	92	2.3
3	41	92	2.2
4	40	92	2.3
5	39	92	2.4
6	40	92	2.3
7	41	92	2.2
8	42	92	2.2
9	40	92	2.3
10	39	92	2.4
11	40	92	2.3
12	41	92	2.2
PROMEDIO	40.42	92	2.28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 8 Etapas de recubrimiento del AWS A5.13-EFe3, AWS A5.13-EFe3-Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8.

N° PROBETA	Recubrimiento de AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600)			Recubrimiento de AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600 Mn)			Recubrimiento de AWS A5.13-EFeCr-A8 (CITODUR 1000)		
	T (s)	Long (mm) Largo	Vel. De avance (mm/s)	T (s)	Long (mm) Largo	Vel. De avance (mm/s)	T (s)	Long (mm) Largo	Vel. De avance (mm/s)
1	40	92	2.3	40	92	2.3	40	92	2.3
2	42	92	2.2	42	92	2.2	42	92	2.2
3	41	92	2.2	41	92	2.2	41	92	2.2
4	40	92	2.3	40	92	2.3	40	92	2.3
5	40	92	2.3	40	92	2.3	40	92	2.3
6	42	92	2.2	42	92	2.2	42	92	2.2
7	41	92	2.2	41	92	2.2	41	92	2.2
8	40	92	2.3	40	92	2.3	40	92	2.3
9	42	92	2.2	42	92	2.2	42	92	2.2
10	41	92	2.2	41	92	2.2	41	92	2.2
PROMEDIO	40. 9	92	2.25	40.9	92	2.25	40. 9	92	2.25

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. CALCULO DEL CALOR NETO

De la ecuación 4 se halla el calor neto, se ve en la tabla 3.8

$$H_{neto} = \frac{VxI}{v} (f) \quad \text{EC. 14}$$

Los procesos de soldadura tienen diferentes eficiencias, como se ve en la tabla 3.9

Tabla 3. 9 Eficiencia de los procesos de soldeo

Proceso	Eficiencia
Oxiacetileno	35%
GTAW	20-50%

GMAW	70-85%
SMAW	70-80%
FCAW	65-85%
SAW	90-99%

Fuente: metalurgia de la soldadura de Carlos Fosca pag. 86

Según la tabla 3.9 de eficiencia en SMAW el promedio es: $f=0.75$

Con la eficiencia del proceso SMAW se halla la energía que se genera durante la soldadura, en la tabla 3.10 se ven los resultados

Tabla 3. 10 Resultado del calor neto del recubrimiento duro con el electrodo AWS A5.13-EFe

1

Recubrimientos	Voltaje (V)	Intensidad de corriente(A)	Velocidad (mm/s)	H_{neto}
AWS A5.13-EFe 1	23	110	2.28	832.24 J/mm

Fuente: Elaboración propia

3.5.3. ANCHO DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR (Y)

El ancho de la zona afectada por el calor (ZAC) fue calculada por la ecuación 6:

$$Y = \left[\left(\frac{1}{T_{max}-T_0} \right) - \left(\frac{1}{T_{fusion}-T_0} \right) \right] \times \left[\frac{H_{neto}}{4.13 \times \rho \times C \times t} \right]$$

Datos:

$$T_{max} = 860^{\circ} \qquad T_0 = 20^{\circ} \qquad T_{fusion} = 1510^{\circ}$$

$$\rho = 0.00785 \text{ g/mm}^3 \qquad C = 0.561 \text{ (J/g. }^{\circ}\text{C.)} \qquad t = 8 \text{ (mm)}$$

Tabla 3. 11 Zona afectada por el calor (ZAC) para el electrodo AWS A5.13-Efe1

Recubrimiento	H_{neto}	ancho de la ZAC (mm)
AWS A5.13-Efe1	832.24 J/mm	2.97

Fuente: Elaboración propia

3.5.4. CÁLCULO DEL DESGASTE POR ABRASIÓN DE LAS PROBETAS.

3.5.4.1.ACERO SAE 1060 Y ASTM A36

Tabla 3. 12 Ancho de la probeta inicial, final, y desgaste en mm del acero SAE 1060 Y ASTM A36

Probeta	SAE 1060 Inicial	SAE 1060 Final	Desgaste en mm	ASTM A36 Inicial	ASTM A36 Final	Desgaste en mm
1	35	21.95	13.05	35	26.75	8.25
2	35	22.10	12.90	35	26.60	8.40
3	35	22.85	12.15	35	26.75	8.25
4	35	23.00	12.00	35	26.45	8.55
5	35	22.40	12.60	35	26.90	8.10
6	35	22.55	12.45	35	26.45	8.55
7	35	22.25	12.75	35	26.30	8.70
8	35	22.10	12.90	35	26.90	8.10
9	35	23.00	12.00	35	26.75	8.25
10	35	22.70	12.30	35	26.60	8.40
Sumatoria	350	224.90	125.10	350	266.45	83.55

Fuente: Elaboración propia

Se mide el desgaste en el ancho de la probeta según las dimensiones L x A x e = (98mm x 35mm x 8mm)

Tabla 3. 13 Ancho de la probeta inicial, final, y desgaste en mm del acero recubierto con los electrodos AWS A5.13 EFe3, AWS A5.13 EFe3_Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8.

Probeta	AWS A5.13 EFe3_Mn Inicial	AWS A5.13 EFe3_Mn Final	Desgaste en mm	AWS A5.13 EFe3 Inicial	AWS A5.13 EFe3 Final	Desgaste en mm	AWS A5.13-EFeCr-A8 Final	AWS A5.13-EFeCr-A8 Final	Desgaste en mm
1	40	37.7	2.3	40	36.9	3.1	40	37.9	2.1
2	40	37.7	2.3	40	36.9	3.1	40	37.8	2.2
3	40	37.7	2.3	40	36.9	3.1	40	37.7	2.3
4	40	37.6	2.4	40	36.8	3.2	40	37.9	2.1
5	40	37.6	2.4	40	36.8	3.2	40	37.9	2.1
6	40	37.6	2.4	40	36.8	3.2	40	37.8	2.2
7	40	37.5	2.5	40	36.8	3.2	40	37.7	2.3
8	40	37.5	2.5	40	36.8	3.2	40	37.9	2.1
9	40	37.5	2.5	40	36.7	3.3	40	37.8	2.2
10	40	37.5	2.5	40	36.7	3.3	40	37.7	2.3
Sumatoria	400	375.9	24.1	400	368.1	31.9	400	378.1	21.9

Fuente: Elaboración propia

Se mide el desgaste en el ancho de la probeta según las dimensiones L x A x e = (98mm x 40mm x 8mm)

Tabla 3. 14 *Valores estadísticos de los electrodos*

	SAE 1060	ASTM A36	AWS A5.13 EFe3	AWS A5.13 EFe3-Mn	AWS A5.13-EFeCr-A8
PROMEDIO	12.51	8.355	3.19	2.41	2.19
DESVIACION	0.388587185	0.20062	0.073786479	0.087559504	0.087559504
Σxy	1876.5	1253.25	478.5	361.5	328.5
Σx	125.1	83.55	31.9	24.1	21.9
Σy	150	150	150	150	150
$(\Sigma x)^2$	15650.01	6980.6025	1017.61	580.81	479.61
Σx^2	1566.36	698.4225	101.81	58.15	48.03
b	15	15	15	15	15
a	0	0	0	0	0
$y=ax+b$	$y=0x+15$	$y=0x+15$	$y=0x+15$	$y=0x+15$	$y=0x+15$
n	10	10	10	10	10

Fuente: Elaboración propia

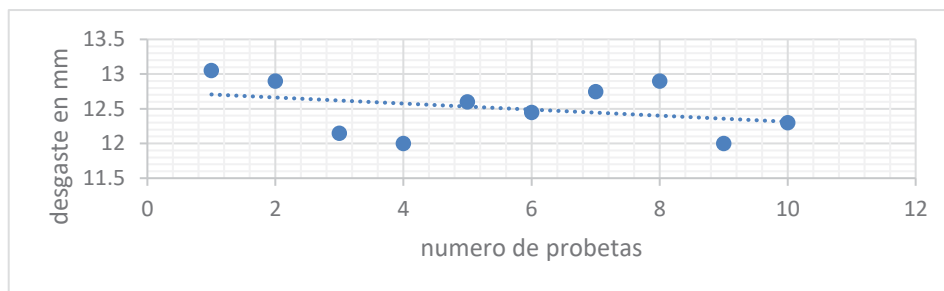
- Ecuaciones a y b para la ecuación de la recta del desgaste del acero SAE 1060

$$a = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{10 \cdot 1876.5 - 125.1 \cdot 150}{10 \cdot 1566.36 - 15650.01} = 0 \quad b = \frac{\sum y - a \sum x}{n} = \frac{150 - 0 \cdot 125.1}{10} = 15$$

$$y = ax + b$$

$$y = 0x + 15$$

Figura 3. 29 Gráfico de Abrasión en mm (SAE 1060)



Fuente: Elaboración propia

Muestra que el desgaste del acero SAE 1060 es constante en una prueba de abrasión de trabajo por 15 horas seguidas chancando 1 tonelada de mineral de oro en un molino de martillos.

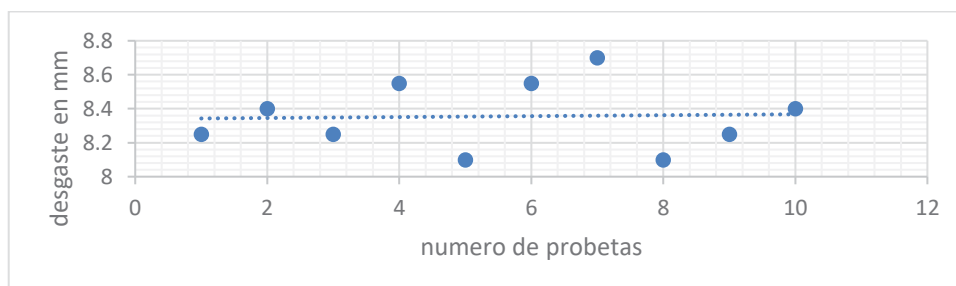
- Ecuaciones a y b para la ecuación de la recta del desgaste del acero ASTM A36

$$a = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{10 \cdot 1253.25 - 83.55 \cdot 150}{10 \cdot 698.4225 - 6980.6025} = 0 \quad b = \frac{\sum y - a \sum x}{n} = \frac{150 - 0 \cdot 83.55}{10} = 15$$

$$y = ax + b$$

$$y = 0x + 15$$

Figura 3. 30 Gráfico de abrasión en mm (ASTM A36)



Fuente: Elaboración propia

Muestra que el desgaste del acero ASTM A36 es constante en una prueba de abrasión de trabajo por 15 horas seguidas chancando 1 tonelada de mineral de oro en un molino de martillos.

- Ecuaciones a y b para la ecuación de la recta del desgaste del recubrimiento del electrodo AWS A5.13 EFe3

$$a = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{10 \cdot 478.5 - 31.9 \cdot 150}{10 \cdot 101.81 - 1017.61} = 0 \quad b = \frac{\sum y - a \sum x}{n} = \frac{150 - 0 \cdot 31.9}{10} = 15$$

$$y = ax + b$$

$$y = 0x + 15$$

Figura 3. 31 Gráfico de abrasión en mm (AWS A5.13 EFe3)



Fuente: Elaboración propia

Muestra que el desgaste del recubrimiento del electrodo AWS A5.13 EFe3 es constante en una prueba de abrasión de trabajo por 15 horas seguidas chancando 1 tonelada de mineral de oro en un molino de martillos.

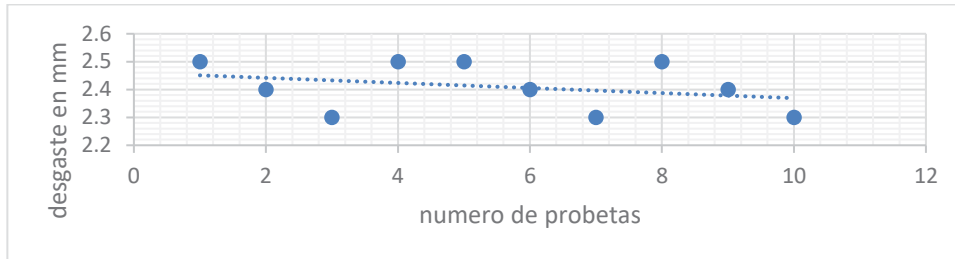
- Ecuaciones a y b para la ecuación de la recta del desgaste del recubrimiento del electrodo AWS A5.13 EFe3-Mn

$$a = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{10 \cdot 361.5 - 24.1 \cdot 150}{10 \cdot 58.15 - 580.81} = 0 \quad b = \frac{\sum y - a \sum x}{n} = \frac{150 - 0 \cdot 24.1}{10} = 15$$

$$y = ax + b$$

$$y = 0x + 15$$

Figura 3. 32 Gráfico de abrasión en mm (AWS A5.13 EFe3-Mn)



Fuente: Elaboración propia

Muestra que el desgaste del recubrimiento del electrodo AWS A5.13 EFe3-Mn es constante en una prueba de abrasión de trabajo por 15 horas seguidas chancando 1 tonelada de mineral de oro en un molino de martillos.

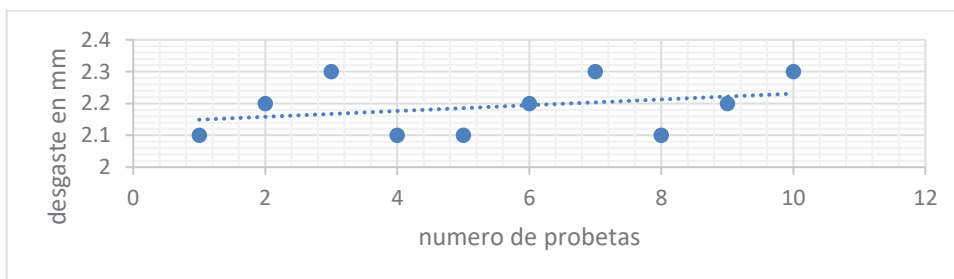
- Ecuaciones a y b para la ecuación de la recta del desgaste del recubrimiento del electrodo AWS A5.13-EFeCr-A8.

$$a = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{10 \cdot 328.5 - 21.9 \cdot 150}{10 \cdot 48.03 - 479.61} = 0 \quad b = \frac{\sum y - a \sum x}{n} = \frac{150 - 0 \cdot 21.9}{10} = 15$$

$$y = ax + b$$

$$y = 0x + 15$$

Figura 3. 33 Gráfico de abrasión en mm (AWS A5.13-EFeCr-A8)



Fuente: Elaboración propia

Muestra que el desgaste del recubrimiento del electrodo AWS A5.13-EFeCr-A8 es constante en una prueba de abrasión de trabajo por 15 horas seguidas chancando 1 tonelada de mineral de oro en un molino de martillos.

3.5.5. DUREZA DE LAS PROBETAS EN HB

Tabla 3. 15 Durezas de los metales empleados en las pruebas de abrasión

Aceros	Dureza catalogo	Dureza con el instrumento	% de dureza a partir del ASTM A36
ASTM A36	119 - 162 HB	102 HB	100%
SAE 1060	215 – 225 HB	219 HB	214.7%
AWS A5.13 EFe3	465 – 475 HB	473 HB	463.7%
AWS A5.13 EFe3_Mn	475 – 485 HB	477 HB	467.6%
AWS A5.13-EFeCr-A8	520 – 530 HB	525 HB	514.7%

Fuente: <http://www.sumindu.com/especificaciones/19-%201060.pdf>
<https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/>, http://www.acerosotero.cl/acero_carbono_sae_1045.html y manual de soldadura 7ma edición OERLIKON pag. 205

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 DISEÑO DE EXPERIMENTAL

Se evaluarán las variables del incremento de la resistencia al desgaste por impacto y abrasión y el aumento de la vida útil de los martillos de una chancadora artesanal como también se determinarán parámetros operativos es decir se darán las condiciones más óptimas a las variables.

Para este fin se utilizó un “DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA BOX BEHNKEN” porque es el que mejor se acomoda para este tipo de investigación con 2 variables respuesta y 3 factores experimentales.

Este es un tipo de diseño experimental, propuesto por Box y Behnken, el cual tiene tres niveles en cada factor, lo que permite la estimación de un modelo cuadrático completo incluyendo interacciones. Este diseño es una alternativa para ajustar modelos cuadráticos que requieren tres niveles de cada factor. Es un diseño cuadrático independiente que se forma combinando factoriales 2^k con diseños de bloques incompletos balanceados. Estos últimos se conocen como incompletos pues en cada bloque se prueba sólo una parte de los tratamientos, y balanceados cuando cada par de tratamientos se prueba el mismo número de veces.

El Diseño Box-Benkhen se construye con:

- Puntos Centrales para examinar la presencia de curvatura, dar información acerca de los efectos cuadráticos y proporcionar una estimación de la magnitud del error experimental. El número de puntos centrales se puede escoger también para establecer rotabilidad.
- Puntos sobre la superficie, de igual distancia del punto central.

El diseño experimental “Box Behnken” es considerando el diseño factorial 2^3 es decir dos niveles para tres factores y tres puntos centrales que implica el total de 8 corridas.

Para los niveles superior e inferior de los 3 factores o variables se han asumido en función de los ensayos experimentales preliminares realizados.

4.1.1 ANÁLISIS Y NIVELES DE LAS VARIABLES

4.1.1.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes, así como sus unidades y niveles que se utilizaron en la investigación se encuentran explicadas en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Análisis y niveles de las variables independientes

Orden	Variable	Símbolo	Tipo		
A	Tipo de electrodo	-	AWS A5.13- EFe3-Mn (CITODUR 600)	AWS A5.13- EFe3-Mn (CITODUR 600 Mn)	A5-13 EFeCr-A8 (CITODUR 1000)
B	Composición del acero ASTM A36	-			
C	VARIABLES DE OPERACIÓN en la ejecución de la soldadura (amperaje, longitud de arco, velocidad de avance)	(A) (mm) (mm/min)			

Fuente: elaboración propia

Las variables observadas en la Tabla 4.1 fueron consideradas como las más influyentes. Por las siguientes razones:

- Tipo de electrodo, por que debido a los electrodos de recubrimiento variara la resistencia al desgaste y su vida útil en los martillos de la chancadora.

- La composición del acero ASTM A36, porque presenta una influencia metalúrgica importante debido al carbón equivalente y el % C, para ver si este puede ser soldado sin sufrir daños a la microestructura.
- Variables de operación en la ejecución de la soldadura (amperaje, longitud de arco, velocidad de avance), La intensidad de corriente, porque influye directamente en el aporte térmico de la soldadura. El fabricante del material de aporte OERLIKON recomienda trabajar con un rango de amperaje entre 100 y 140 amperios, de acuerdo al tipo y diámetro de electrodo, por otro lado, se tomó en cuenta la longitud de arco, ya que dependerá de la separación del electrodo y el metal base para ver una adecuada dilución, por otro lado, se midió la velocidad de avance para ver la velocidad con la que se consume el electrodo en el material base creando una capa adecuada para el recubrimiento.

4.1.1.2 VARIABLE DEPENDIENTE

La variable dependiente es el incremento de la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión y duración de los martillos de la chancadora.

Sin embargo, no habiendo un instrumento que mida del incremento de la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de una chancadora artesanal, se recurrió a subvariables, tal es el caso del índice de dureza, desgaste de los martillos con recubrimientos duros, de impacto y aumento de la vida útil de los martillos.

4.1.2 DISEÑO FACTORIAL 2³ CON DOS RÉPLICAS

Con el diseño de experimentos se estudió el efecto del Tipo de electrodo (A), Composición del acero ASTM A36 (B) y Variables de operación en la ejecución de la soldadura (amperaje, longitud de arco, velocidad de avance) (C), sobre la dureza Rockwell C del cordón de

soldadura. Siendo la dureza una subvariable del acero ASTM A36, que se expresa de manera cuantitativa.

- Para ello se decidió correr un experimento factorial 2^3 con dos replicas. Es decir, se estudian tres factores en dos niveles cada uno, haciendo $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ tratamientos diferentes, a parte, de la réplica. Se entiende por replica a correr más de una vez un mismo tratamiento o combinación de factores.

Los niveles de prueba de cada factor, tanto en unidades originales como en unidades codificadas se muestran en la Tabla 4.2.

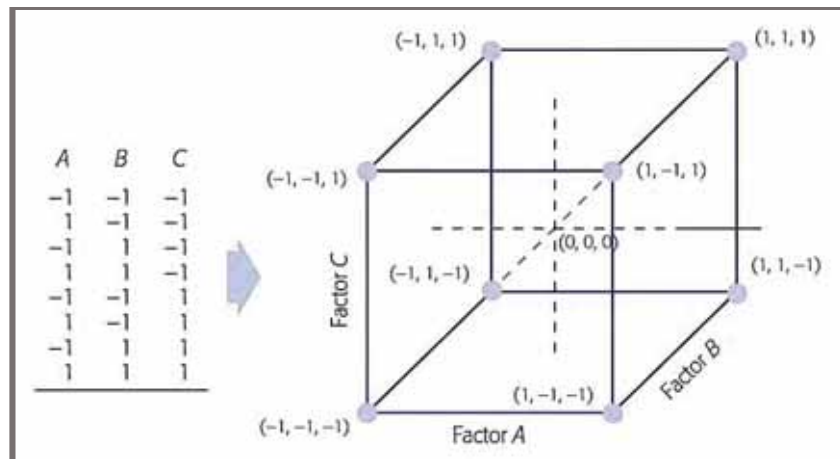
Tabla 4. 2 Niveles de prueba de los factores del diseño experimental

Factor	Unidades	
	Bajo	Alto
A: Tipo del electrodo	-	+
B: Composición del acero ASTM A36	-	+
C: Variables de operación en la ejecución de la soldadura (amperaje, longitud de arco, velocidad de avance)	-	+

Fuente: elaboración propia

En ese sentido, los tratamientos del diseño 2^3 y su representación geométrica se muestran en la Figura 4.1 La región experimental es un cubo regular centrado en el origen (0, 0, 0), cuyos vértices son los ocho tratamientos.

Figura 4.1 Diseño factorial 2^3 y su representación geométrica



Fuente: Gutiérrez y De la Vara, 2008: 184

Nótese que, “la matriz de diseño se construyó alternando el signo menos y el signo más en la primera columna, dos menos y dos más en la segunda columna, y cuatro menos y cuatro más en la tercera; el diseño resulta acomodado en el orden estándar o de Yates” (Gutiérrez & De la Vara, 2008, pág. 183). Con este diseño se pudo estudiar $2^3 = 8$ efectos: tres efectos principales A, B, C; tres interacciones dobles AB, AC, BC y una interacción triple ABC. El interés se enfocó en estudiar los efectos principales y las interacciones dobles.

Por último, es importante indicar que, aunque el diseño factorial 2^3 consista en ocho tratamientos, se realizó dos replicas, con el cual se desarrolló en total 16 tratamientos (incluido las réplicas).

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.2.1 DESGASTE PROMEDIO DE LAS PROBETAS

De la tabla 3.13 se tienen los siguientes promedios de desgaste como se ve en la tabla

4.2

Tabla 4.3 *Desgaste promedio por abrasión*

probetas	Desgaste promedio en mm	% incremento de la resistencia al desgaste por impacto y abrasión.
SAE 1060	12.51	66.8% - 100% = -33.2%
ASTM A36	8.355	100% - 100% = 0.0%
AWS A5.13 EFe3	3.19	100% - 38.2% = 61.8%
AWS A5.13 EFe3_Mn	2.41	100% - 28.8% = 71.2%
AWS A5.13-EFeCr-A8	2.19	100% - 26.2% = 73.8%

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.2 se muestra un gráfico del desgaste de las probetas en mm

Figura 4.2 *Gráfico de abrasión en 3D*



Fuente: Elaboración propia

4.3.1. CONSUMO DE ELECTRODOS

Se pesaron los electrodos antes y después de soldar una probeta y se obtuvieron los pesos en la tabla 4.3.

Tabla 4. 4 *Peso de electrodos*

Electrodo	Peso inicial (g)	Peso final del electrodo (g)
AWS A5.13-EFe 1	50	32
AWS A5.13-EFe 3	36	18
AWS A5.13-EFe 3-Mn	46	31
AWS A5.13-EFeCr-A8	46	32

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del consumo de electrodos se tomó en cuenta la eficiencia (75%) del electrodo depositado en la probeta como se ve en la tabla 4.5.

Tabla 4. 5 *Número de electrodos consumidos*

Electrodo	Peso depositado en 10 probetas	Consumo de electrodos
AWS A5.13-EFe 1	180	5
AWS A5.13-EFe 3	180	7
AWS A5.13-EFe 3-Mn	150	5
AWS A5.13-EFeCr-A8	140	4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 6 *Costo de electrodos*

Electrodo	Costo por kilo en soles	Costo unitario en soles
AWS A5.13-EFe 1	35	1.75
AWS A5.13-EFe 3	48	1.78
AWS A5.13-EFe 3-Mn	55	2.62
AWS A5.13-EFeCr-A8	100	4.76

Fuente: Elaboración propia.

Se compararon los costos de fabricación en 10 probetas para cada recubrimiento y para el acero SAE1060 como se ve en la tabla 4.6.

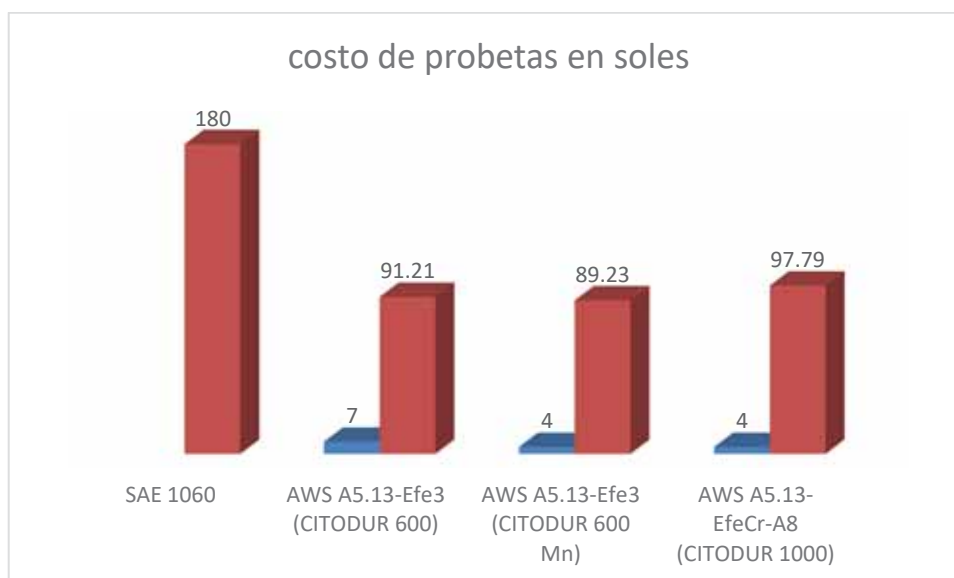
Tabla 4.7 Costo de maquinado por 10 probeta

10 probetas		Costo detallado por 10 probetas			Costo total por 10 probetas en soles
		Costo del recubrimiento con AWS A5.13-EFe 1	Costo por recubrimiento final	Costo por maquinado de probetas ASTM A36	
AWS	A5.13-EFe3 (CITODUR 600)	8.75	12.46	70	91.21
AWS	A5.13-EFe3 (CITODUR 600 Mn)	8.75	10.48	70	89.23
AWS	A5.13-EFeCr-A8 (CITODUR 1000)	8.75	19.04	70	97.79
SAE	1060	-	-	-	180

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 4.5 se observa que el electrodo AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600 Mn) es el de menor costo, como también se observa en la figura 4.3

Figura 4.3 Costo de 10 probetas y electrodos usados por recubrimiento

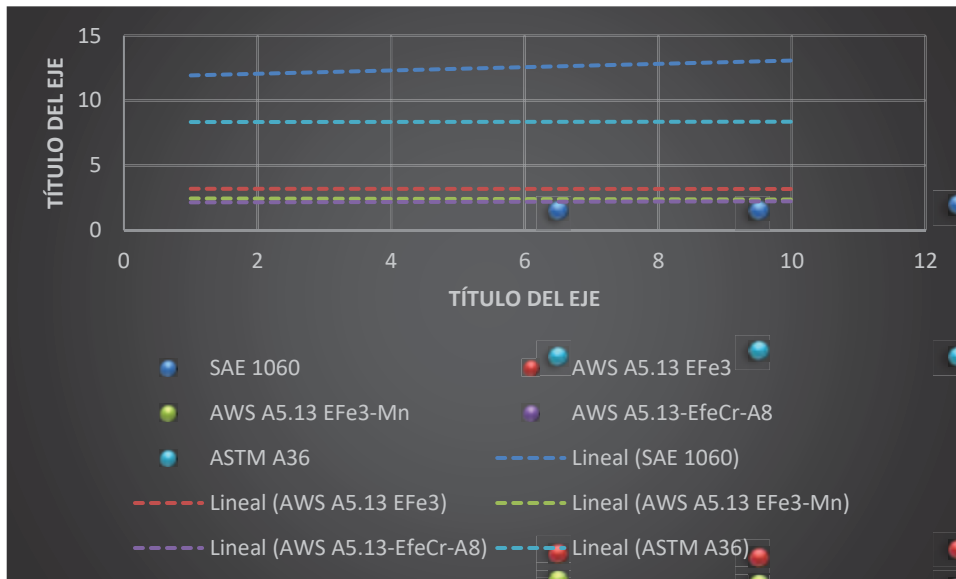


Fuente: Elaboración propia

4.3.2. CONCLUSIÓN DE RESULTADOS

- Se concluye que se incrementó la resistencia al desgaste con recubrimientos duros, el de mayor desgaste es AWS A5.13-EFe 3 y el de menor desgaste AWS A5.13-EFeCr-A8, como se ve en la figura 4.4.

Figura 4. 4 Comparación de desgaste en mm/probeta



Fuente: Elaboración propia

- El costo por fabricación de los martillos de la chancadora artesanal con acero ASTM A36, disminuye considerablemente, porque el acero ASTM A36 solo requiere un recubrimiento duro después de su desgaste y no un cambio total de la pieza.

“INCREMENTO DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE, POR IMPACTO Y ABRASIÓN DE LOS MARTILLOS DE UNA CHANCADORA ARTESANAL CON RECUBRIMIENTOS DUROS POR EL PROCESO SMAW”

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS Y VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA El acero ASTM A36 que es un acero de bajo carbono, que ofrece baja dureza durante la operación de conminución, sufre un desgaste más rápido que un acero especial al manganeso y molibdeno; por tal motivo este acero debe ser cubierto con materiales de aporte duros como el AWS A5.13-EFe3, AWS A5.13-EFe3-Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8.</p> <p>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL ¿En qué medida los recubrimientos duros por el proceso SMAW, incrementa la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos del acero ASTM A36 de una chancadora artesanal?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS. •¿Cómo evitar el cambio prematuro de los martillos? •¿Qué electrodos de aporte incrementarán la dureza de los martillos de la chancadora? •¿En qué medida incrementará la dureza de los martillos el electrodo AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600), utilizando el proceso SMAW? •¿En qué medida incrementará la dureza de los martillos el electrodo AWS A5.13-EFe3-Mn (CITODUR 600 Mn), utilizando el proceso SMAW? •¿En qué medida incrementará la dureza de los martillos el electrodo A5-13 EFeCr-A8 (CITODUR 1000), utilizando el proceso SMAW?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL •Incrementar la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de acero ASTM A36 de una chancadora artesanal, mediante recubrimientos duros por el proceso SMAW.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS •Evitar el cambio prematuro de los martillos de la chancadora, mediante recubrimientos duros por el proceso SMAW. •Seleccionar los electrodos de aporte (AWS A5.13-EFe3, AWS A5.13-EFe3-Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8) que incrementa, la dureza superficial de los martillos de la chancadora. •Realizar pruebas de recubrimientos duros con el electrodo AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600), utilizando el proceso SMAW para incrementar la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión, de los martillos. •Realizar pruebas de recubrimientos duros con el electrodo AWS A5.13-EFe3-Mn (CITODUR 600 Mn), utilizando el proceso SMAW para incrementar la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión, de los martillos. •Realizar pruebas de recubrimientos duros con el electrodo AWS A5.13 EFeCr-A8. (CITODUR 1000), utilizando el proceso SMAW para incrementar la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión, de los martillos.</p>	<p>HIPÓTESIS Se incrementó la resistencia al desgaste por impacto y abrasión de los martillos de acero ASTM A36 con recubrimientos duros por soldadura SMAW.</p> <p>VARIABLES: VARIABLES INDEPENDIENTES •Tipo de electrodo •Composición del acero ASTM A36 •Variables de operación en la ejecución de la soldadura (Amperaje, Longitud de arco, velocidad de avance)</p> <p>VARIABLES DEPENDIENTES • Dureza de los martillos de la chancadora •Resistencia al desgaste, por impacto y abrasión. •Mayor vida útil de los martillos de la chancadora.</p> <p>UNIVERSO Y MUESTRA El universo son todos los aceros al carbono. La muestra: •Aceros ASTM A36. •Recubrimiento con el electrodo AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600) •Recubrimiento con el electrodo AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600 Mn) •Recubrimiento con el electrodo AWS A5.13-EFeCr-A8 (CITODUR 1000).</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN La investigación es cuantitativa y experimental, que pretende realizar recubrimientos duros por soldadura SMAW del acero ASTM A36, con el fin incrementar la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión.</p> <p>NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN •Descriptivo. - Describe la tecnología de recubrimientos duros por soldadura SMAW del acero ASTM A36. •Analítico. - Se realizará un diagnóstico en las probetas del acero ASTM A36, por recubrimientos duros por soldadura SMAW con diferentes electrodos: •AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600) •AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600 Mn) •AWS A5.13-EFeCr-A8 (CITODUR 1000) •Explicativo. - Durante los recubrimientos duros por soldadura SMAW habrá cambios microestructurales, por consiguiente, cambios en las propiedades mecánicas: •Resistencia a la abrasión •Dureza •Experimental. - Se realizarán las pruebas a las probetas de acero ASTM A36.</p>

CONCLUSIONES

- Se incrementa la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de acero ASTM A36 de una chancadora artesanal, mediante los recubrimientos duros por el proceso SMAW con los electrodos hasta un 73.80 % según la tabla 4.2
- Se evita el cambio prematuro de los martillos de la chancadora, mediante recubrimientos duros por el proceso SMAW.
- Los electrodos de aporte que incrementan la dureza de los martillos son AWS A5.13-EFe3, AWS A5.13-EFe3-Mn y AWS A5.13-EFeCr-A8 hasta un 514.7% como se muestra en la tabla 3.15
- El electrodo AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600) incrementa la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión en 61.82%.
- El electrodo AWS A5.13-EFe3-Mn (CITODUR 600 Mn) incrementa la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión en 71.15%.
- El electrodo A5-13 EFeCr-A8 (CITODUR 1000) incrementa la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión en 73.80%.
- Disminuye el costo de los martillos con recubrimientos duros.
- El electrodo más adecuado para los recubrimientos duros en los martillos de una chancadora artesanal es el electrodo AWS A5.13-EFe3-Mn (CITODUR 600 Mn) ya que por su contenido de Mn y Cr es el más adecuado para la abrasión con minerales de oro.

RECOMENDACIONES

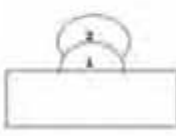
- Se recomienda tomar como referencia esta tesis para el estudio metalográfico de las probetas con recubrimientos duros.
- Se recomienda trabajar en todo momento con los implementos de seguridad y salud ocupacional.
- Para mantener los electrodos en buen estado conservarlos en lugares secos.
- Las superficies de las probetas deben estar limpias de óxidos e incrustaciones.

BIBLIOGRAFÍA

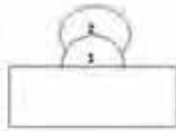
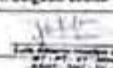
- (AWS), C. D. (2010). American Welding Society.
- Dana, H. (s.f.). *Manual de mineralogía y cristalografía*.
- Fay Taggart, A., & August, B. H. (s.f.). *Manual de procesamiento de minerales*.
- Fosca, C. (2003). *Introducción a la metalurgia de la soldadura*. Grambs.
- H, A. S. (1988). *Introducción a la metalurgia física*. McGraw-Hill.
- H, V. V. (1981). *Materiales para ingeniería*.
- Mangonon, P. L. (s.f.). Ciencia de los materiales sección y diseño.
- Ospino, B. (s.f.). *Montaje para un taller para proceso de termo rociado*. Obtenido de Brian Ospino: <http://soldaduraltda.blogspot.com/2010/04/>
- Peralta, F. L. (2004). *Gestión de calidad aplicada al proceso de soldadura para el gas de camisea*.
- Porras, L. G. (2013). *Influencia del contenido de vanadio en la resistencia al desgaste de recubrimientos duros con 5% de ferro-titanio*. Pontificia universidad catolica del peru.
- Riesco, G. H. (s.f.). *Manual del soldador* (23 ed.).
- Ruiz, W. G. (s.f.). Uso de las normas ASTM en corporación aceros arequipa S.A. Obtenido de <https://www.astm.org/GLOBAL/docs/Presentacion-Walter-Gamonal-Ruiz.pdf>
- Soldexa. (s.f.). *Manual de soldadura* (7ma edición ed.).
- UNI. (1995). *Estudio de la zona minera aurífera - La Rinconada*. Recuperado el 20 de Enero de 2021, de Repositorio institucional UNI: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/12675>
- Uribe Pérez, J. J., & Lozano Ramírez, E. Y. (2014). *Desarrollo, construcción y pruebas de funcionamiento de un prototipo de molino de martillos para la trituración en estado seco de cascara de cacao y similares*. (U. p. Bolivariana, Ed.)

ANEXOS



PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PARA EL ELECTRODO AWS A5.13-EFe3 (CITODUR 600)

WPS ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA									
Nombre de la Empresa: <u>TESIS</u>					Identificación No: _____				
Proceso(s) de soldadura: <u>SMAW</u>					Soporte del PQR No: _____				
TIPO: MANUAL <input checked="" type="checkbox"/> SEMIAUTOMÁTICO <input type="checkbox"/> AUTOMÁTICO <input type="checkbox"/>					Revisión: _____ Fecha: <u>19-01-2021</u> Por: _____				
Soldador: <u>Carlos Garriazo Ccopa</u>					Autorizado por: <u>Luis Alberto Huallpa Chavez</u>				
DISEÑO DE UNIÓN					POSICIÓN				
Tipo de Unión: <u>recubrimiento</u>					RANURA: <u>18</u> FILETE: _____				
Tipo de soldadura: <u>plano</u> SIMPLE <input checked="" type="checkbox"/> DOBLE <input type="checkbox"/>					PLANCHA <input checked="" type="checkbox"/> TUBERÍA <input type="checkbox"/>				
Abertura de Raíz: _____ Longitud de cara de Raíz: _____					CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS				
Ángulo de ranura: _____ Radio (R): _____									
Soporte: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Material del soporte: _____									
Limpieza de raíz: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: _____									
METALES BASE					MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW):				
Grupo: <u>MB 1</u>					CORTO CIRCUITO <input type="checkbox"/>				
Especificación del Acero: <u>ASTM A36</u>					GLOBULAR <input type="checkbox"/>				
Grado: _____					SPRAY <input type="checkbox"/>				
Espesor de plancha: <u>8 mm</u>					CORRIENTE: AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/>				
Diámetro (tubería): _____					PULSO <input type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/>				
METAL DE APORTE					TÉCNICA				
Especificación AWS: <u>A5.13</u>					APORTACIÓN: RECTA <input type="checkbox"/> OSCILANTE <input checked="" type="checkbox"/>				
Clasificación AWS: <u>EFe1 - EFe3</u>					PASE: SIMPLE <input type="checkbox"/> MÚLTIPLE <input type="checkbox"/>				
Marca: <u>DERLIKON</u>					Limpieza entre pases: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: <u>esmeril</u>				
Tamaño del electrodo: <u>352 mm</u>					PRECALENTAMIENTO				
PROTECCIÓN					Temperatura de precalentamiento: _____				
Fundente: <u>Envasamiento</u> Gas: _____					Temperatura de interfase: _____				
Composición: _____					POSTCALENTAMIENTO				
Velocidad de flujo: _____					Temperatura: _____				
Tamaño de la boquilla: _____					Tiempo: _____				
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA									
Pase	Proceso	Fragmento	Metales de Aporte		Comente			Velocidad de avance (mm/d)	Detalles de la Unión y Secuencia de soldadura
			Clase	Diám. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (Amp)	Voltaje (V)		
1	SMAW		EFe1	8 mm	DCEP	120	20-25	2.28	
2	SMAW		EFe3	3.25mm	DCEP	110	20-25	2.26	
ELABORADO POR: <u>Samuel M. Delgado Lozano - Carlos A. Garriazo Ccopa</u>					FECHA: <u>19-01-2021</u>				
APROBADO POR: _____					COMPañÍA: <u>E.O.S.M.</u>				

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PARA EL ELECTRODO AWS A5.13-EFe3-MN (CITODUR 600 MN)

WPS		ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Nombre de la Empresa: <u>TESIS</u>				Identificación No. _____				Soporte del PQR No. _____		
Proceso(s) de soldadura: <u>SMAW</u>				Revisión: _____ Fecha: <u>15-01-2021</u> Por: _____				Autorizado por: <u>Luis Alberto Hualpa Chauri</u>		
TIPO: <input checked="" type="checkbox"/> MANUAL <input type="checkbox"/> SEMIAUTOMÁTICO <input type="checkbox"/> AUTOMÁTICO <input type="checkbox"/>				Soldador: <u>Carlos Garriazo Ccoipa</u>						
DISEÑO DE UNIÓN				POSICIÓN						
Tipo de Unión: <u>resubrimiento</u>				RANURA <u>30</u> FILETE _____						
Tipo de soldadura: <u>plana</u> SIMPLE <input checked="" type="checkbox"/> DOBLE <input type="checkbox"/>				PLANCHA <input checked="" type="checkbox"/> TUBERÍA <input type="checkbox"/>						
Abertura de Raíz: _____ Longitud de cara de Raíz: _____				CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS						
Ángulo de ranura: _____ Radio (J/U): _____				MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW):						
Soporte: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Material del soporte: _____				CORTE CIRCUITO <input type="checkbox"/>						
Limpieza de raíz: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: _____				GLOBULAR <input type="checkbox"/>						
METALES BASE				CORRIENTE:						
Grupo: _____				AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/>						
Especificación del Acero: <u>MB 1</u>				PULSO <input type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/>						
Grado: _____				TÉCNICA						
Especificación del Acero: <u>ASTM A58</u>				APORTACIÓN: RECTA <input type="checkbox"/> OSCILANTE <input checked="" type="checkbox"/>						
Grado: _____				PASE: SIMPLE <input type="checkbox"/> MÚLTIPLE <input type="checkbox"/>						
Espesor de plancha: <u>8 mm</u>				Limpieza entre pases: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: <u>esmeril</u>						
Diámetro (tubería): _____				PRECALENTAMIENTO						
METAL DE APORTE				Temperatura de precalentamiento: _____						
Especificación AWS: <u>A5.13</u>				Temperatura de interpase: _____						
Clasificación AWS: <u>EFe1 - EFe3 Mn</u>				POSTCALENTAMIENTO						
Marca: <u>CELIKODY</u>				Temperatura: _____						
Tamaño del electrodo: <u>330 mm</u>				Tiempo: _____						
PROTECCIÓN				PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA						
Fundente: <u>Revestimiento</u> GBS: _____										
Composición: _____										
Velocidad de flujo: _____										
Tamaño de la boquilla: _____										
Pase	Proceso	Protección	Metales de Aporte		Corriente			Velocidad de avance (mm/v)	Detalles de la Unión y Secuencia de soldadura	
			Clase	Diam. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (Amp)	Voltaje (V)			Velocidad de avance del electrodo (mm/min)
1	SMAW		EFe1	4 mm	DCEP	120	20-28	2.28		
2	SMAW		EFe3 Mn	3.25mm	DCEP	120	20-25	2.26		
ELABORADO POR: <u>Samuel M. Delgado Lealza - Carlos A. Garriazo Ccoipa</u>				FECHA: <u>15-01-2021</u>						
APROBADO POR: 				COMPañÍA: <u>E.G.E.M.</u>						

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PARA EL ELECTRODO AWS A5.13-EFeCR-A8 (CITODUR 1000)

WPS		ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Nombre de la Empresa: <u>TESIS</u>		Identificación No: _____		Proceso(s) de soldadura: <u>SMAW</u>		Soporte del PQR No: _____		Revisión: _____ Fecha: <u>15-01-2021</u> Por: _____		
TIPO: MANUAL <input checked="" type="checkbox"/> SEMIAUTOMÁTICO <input type="checkbox"/> AUTOMÁTICO <input type="checkbox"/>		Soldador: <u>Carlos Garriazo Ccopa</u>		Autorizado por: <u>Luis Alberto Hualpa Chauca</u>						
DISEÑO DE UNIÓN					POSICIÓN					
Tipo de Unión: <u>recubrimiento</u>					RANURA <u>1G</u> FILETE _____					
Tipo de soldadura: <u>plano</u> SIMPLE <input checked="" type="checkbox"/> DOBLE <input type="checkbox"/>					PLANCHA <input checked="" type="checkbox"/> TUBERÍA <input type="checkbox"/>					
Abertura de Raíz: _____ Longitud de cara de Raíz: _____					CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS					
Ángulo de ranura: _____ Radio (R/U): _____										
Soporte: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Material del soporte: _____										
Limpieza de raíz: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: _____					MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW)					
METALES BASE					CORTO CIRCUITO <input type="checkbox"/>					
					GLOBULAR <input type="checkbox"/>					
					SPRAY <input type="checkbox"/>					
Grupo: <u>MB 1</u>					CORRIENTE: AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/>					
Especificación del Acero: <u>ASTM A56</u>					PULSO <input type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/>					
Grado: _____					TÉCNICA					
Espesor de plancha: <u>8 mm</u>										
Diámetro (tubería): _____					APORTACIÓN: RECTA <input type="checkbox"/> OSCILANTE <input checked="" type="checkbox"/>					
METAL DE APORTE					PASE: SIMPLE <input type="checkbox"/> MÚLTIPLE <input type="checkbox"/>					
					Especificación AWS: <u>A5.13</u>					
Clasificación AWS: <u>EFe1 - EFe3 Mn</u>					Limpieza entre pases: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: <u>esmeril</u>					
Marca: <u>DERLIKON</u>					PRECALENTAMIENTO					
Tamaño del electrodo: <u>350 mm</u>										
Fundente: <u>Revestimiento</u> Gas: _____					Temperatura de precalentamiento: _____					
Composición: _____					Temperatura de interpase: _____					
Velocidad de flujo: _____					POSTCALENTAMIENTO					
Tamaño de la boquilla: _____										
					Temperatura: _____					
					Tiempo: _____					
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
Pase	Proceso	Progresión	Metales de Aporte		Corriente			Velocidad de alimentación del alambre (mm/min)	Velocidad de avance (mm/s)	Detalles de la Unión y Secuencia de soldadura
			Clase	Diám (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (Amp)	Voltaje (Volts)			
1	SMAW		EFe1	4 mm	DCEP	120	20-28		2.28	
2	SMAW		EFe3 Mn	3.25mm	DCEP	120	20-28		2.26	
ELABORADO POR: <u>Samuel M. Delgado Lozaiz - Carlos A. Garriazo Ccopa</u>		FECHA: <u>15-01-2021</u>		APROBADO POR: 		COMPañIA: <u>E.G.E.M.</u>				

SMAW

Aceros al Carbono y Baja Aleación



SUPERCITO

Electrodo revestido de tipo básico, de bajo hidrógeno con extraordinarias características mecánicas y de soldabilidad. Presenta un arco muy suave, bajo nivel de salpicaduras y la escoria es de muy fácil remoción. El contenido de hierro en polvo mejora su tasa de depósito. Dentro de su categoría es el producto que presenta los mejores niveles de resistencia a la tracción.

Clasificación	
AWS A5.1 / ASME-SFA 5.1	E7018

Aprobaciones	Grados
ABS	3H15,3Y
LR	3m,3ym
GL	3Y

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) (%)

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,05	1,00	0,60	máx. 0,020	máx. 0,020	-	-	-	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida (50-V) [°C (°F)] [J (Ft-Lbf)]
Sin tratamiento	520 – 610 (75 400 – 88 450)	min. 400 (58 000)	min.23	[-30 °C (-22 °F)] min. 70 (57)

Conservación del Producto
<ul style="list-style-type: none"> Mantener en un lugar seco y evitar humedad. Almacenamiento en horno: 125 – 150°C. Resecado de 300°C a 350 °C por 2 horas.



Parámetros de Soldes Recomendados

Para corriente alterna (AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP							
Diámetro	[mm]	1,60	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Ampiraje mínimo	-	60	90	120	170	210	
Ampiraje máximo	-	90	140	190	240	280	

Aplicaciones

- Para aceros de mediano a alto contenido de carbono, alta resistencia y baja aleación.
- Para aceros de alto contenido de azufre y fácil fresado.
- Para aceros laminados al frío.
- Por sus características de resistencia y su fácil manejo, especialmente adecuado para: Soldaduras de tuberías de vapor, calderas de alta presión, piezas de maquinaria pesada, instalaciones de la industria petrolera, petroquímica y minera.

Nota: El precalentamiento está en función al tipo y espesor del material a soldar.

SMAW
Recubrimiento Protector
CITODUR 350



Electrodo de revestimiento básico que deposita un acero de baja aleación. Posee buenas características de soldado, su depósito produce superficies tenaces, maquinables y de dureza intermedia, permitiendo resistir impactos severos y abrasión moderada. Autoendurece con el trabajo en frío, obteniendo durezas de hasta 40 HRC. Por su composición química puede utilizarse en más de 3 pases (multipase), sin peligro de desprendimiento o fisuraciones. Puede ser usado como cama cojín para la aplicación de recubrimientos duros especiales.

Clasificación	
AWS A5.13 / ASME SFA-5.13	EFe1
DIN 8555	E1 - UM - 300

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) (%)

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,20	0,50	0,14	max. 0,020	max. 0,020	-	-	2,50	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción (MPa (psi))	Límite de Fluencia (MPa (psi))	Elongación en 2" (%)	Energía Absorbida (50-V) (°C (°F)) (J (Ft-Lbf))	Dureza
Sin tratamiento	-	-	-	-	27 - 30 HRC 276 - 300 HB 275 - 300 HV

Conservación del Producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- No requiere almacenamiento bajo horno.
- Resecado de 300°C a 350°C por 2 horas.

Posiciones de Soldadura

P, H, Va.

Parámetros de Soldado Recomendados

Para corriente alterna (AC) o continua (DC) - Electrodo al polo positivo DCEP							
Diámetro	[mm]	1,60	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo	-	-	-	105	120	170	230
Amperaje máximo	-	-	-	135	180	240	280

Aplicaciones

- En general, para recuperar piezas que están sometidas a desgastes combinados de abrasión moderada e impactos severos, así como, por fricción metal-metal.
- Muy usado en partes de equipos pesados que sufren desgaste como: Recuperación de sprockets (catalinas), carriles, pistas de deslizamiento, ruedas de puentes grúa, ruedas dentadas, ejes, dientes de engranajes, levas, rodillos, impulsores de bomba, orugas, pines, etc.
- En la minería tiene una diversidad de usos, principalmente cuando se quiere bajar costos de recuperación antes de aplicar recubrimientos especiales.
- Para la recuperación de ruedas de carros mineros.
- Ideal para la recuperación de los elementos que componen el tren de carrilaje de los tractores.

SMAW
Recubrimiento Protector
CITODUR 600



Electrodo de buena resistencia a la abrasión e impacto moderado, cuyo depósito está compuesto de carburos de cromo distribuidos uniformemente. Las elevadas durezas que se consigue (52 – 55 HRC) hacen que sus depósitos no sean maquinables, pero si pueden ser forjados o templados. El CITODUR 600 se caracteriza por dejar un material depositado de buen acabado libre de porosidades y es factible obtener cordones de soldadura libres de fisuras, para lo cual, en caso sea necesario se debe precalentar el material base. Electrodo de alto rendimiento.

Clasificación	
AWS A5.13 / ASME SFA-5.13	Efn3
DIN 8555	E 6 - UM - 60

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) (%)

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,50	0,50	0,40	máx. 0,020	máx. 0,020	0,50	-	6,70	-	0,5% V

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida (50-V) [°C (°F)] [J (Ft-Lbf)]	Dureza
Sin tratamiento	-	-	-	-	52-55 HRC

Conservación del Producto
<ul style="list-style-type: none"> Mantener en un lugar seco y evitar humedad. No requiere almacenamiento bajo horno. Resecado de 300°C a 350°C por 2 horas.

Posiciones de Soldadura

Parámetros de Soldado Recomendados

Para corriente alterna (AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP							
Diámetro	[mm]	1,60	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo	-	-	-	100	140	190	230
Amperaje máximo	-	-	-	135	5/32	240	280

Aplicaciones

- Su elevada dureza le confiere excelente resistencia a la fricción metal-metal, pero debe tomarse la previsión de cual será el componente de sacrificio por su elevado nivel de dureza.
- Como "soldadura preventiva" para recubrir y proteger componentes o piezas nuevas, que van a estar expuestas a agentes de desgastes combinados de abrasión severa con impactos moderados.
- Puede utilizarse para reconstruir piezas y como cama cojin de recubrimientos protectores especiales.
- Con frecuencia es aplicable en la industria minera para recuperación y protección de equipos, como: cucharas, baldes, dragas y plumas, cuchillas de bulldozers, martillos, placas y conos trituradores, bombas, impulsores, etc.
- Usado en la industria del cemento, ladrilleras, constructoras, fábricas de plásticos, vidrios, etc.
- Dentro de las variadas aplicaciones tenemos: Recuperación de piñones de cadena, engranajes, sprockets, bordes de yunques, árbol de levas, rejas de arados, parrillas de zarandas, etc.
- Ideal para proteger componentes que trabajan en movimiento de tierras y en minería aurífera.

SMAW

Recubrimiento Protector



CITODUR 600 Mn

Electrodo de buena resistencia al impacto y abrasión severa, diseñado para la minería aurífera. Su depósito está conformado por una estructura perfectamente equilibrada, en donde predomina los carburos de cromo. Por su dureza los depósitos no son maquinables. Diseñado para contrarrestar los desgastes presentes en bombas de lavaderos de oro que trabajan a impacto y abrasión severa. Aleación muy económica, si comparamos el costo/beneficio. El contenido de Mn en el depósito le incrementa su dureza por impactos severos.

Clasificación	
AWS A5.13 / ASME 5FA-5.13	E6-3
DIN 8555	E 6 - UM - 60

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,50	1,50	0,40	máx. 0,020	máx. 0,020	0,50	-	7,00	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida (ISO-V [°C (°F)]) [J (Ft-Lbf)]	Dureza
Sin tratamiento	-	-	-	-	54 - 62 HRC

Conservación del producto
<ul style="list-style-type: none"> Mantener en un lugar seco y evitar humedad. No requiere almacenamiento bajo horno. Resecado de 300° C a 350° C por 2 horas.

Posiciones de Soldadura

Parámetros de Soldado Recomendados

Para corriente alterna (AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP							
Diámetro	(mm)	1,60	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	(pulgadas)	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo	-	-	-	-	140	190	-
Amperaje máximo	-	-	-	-	180	240	-

Aplicaciones

- Para desgaste combinado: Impacto + abrasión.
- Recomendable para efectuar mantenimiento preventivos en aquellas piezas que van a trabajar en condiciones de golpe y abrasión.
- Gran aplicación en el sector minero, especialmente diseñado para la minería aurífera.
- Diseñado especialmente para rellenar bombas usadas en extracción de minerales en ríos y lodazales.
- Gran aplicación en el sector minero y construcción, para recuperar piezas de equipos de movimiento de tierras.
- Se recomienda para emplearse en la industria del cemento, vidrio, ladrilleras y plásticos.
- Usado en la recuperación de piñones, cadenas, yunques y parrillas de zarandas.

SMAW
Recubrimiento Protector
CITODUR 1000



Electrodo para recargue de gran resistencia a la corrosión oxidación y abrasión severa. El material depositado es una fundición blanca con alto contenido de cromo (36%), por lo que, se recomienda aplicar 2 pases para que el relleno no se desprenda. En la mayoría de los casos, para obtener las características deseadas, es recomendable usar una cama cojín apropiada en función a las características del material base o los desgastes presentes. Gracias a su alto contenido de carburos de cromo, el depósito conserva la resistencia a la abrasión severa aún a temperaturas elevadas (hasta 1000°C). Los cordones que deposita son perfectamente lisos, libres de poros, sin salpicaduras ni inclusiones de escoria. El material de aporte es no maquinable, pero puede ser forjado y templado.

Clasificación	
AWS A5.13 / ASME SFA-5.13	EFeCr-A8
DIN 8555	E10 - LfM 60 CGRZ

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
4,00	1,10	0,60	máx. 0,020	máx. 0,020			36,00		

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida [ISO-V [°C / °F]] [J (ft-lbf)]	Dureza
Sin tratamiento					58 - 62 HRC

Conservación del Producto
<ul style="list-style-type: none"> Mantener en un lugar seco y evitar humedad. No requiere almacenamiento bajo vacío. Resecado de 300°C a 350°C por 2 horas.

Posiciones de Soldadura

Parámetros de Soldes Recomendadas:

Para corriente alterna (AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP							
Diámetro	[mm]	1,60	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		-	-	120	150	180	-
Amperaje máximo				140	160	230	-

Aplicaciones

- Para recuperar y recubrir piezas que están expuestas a desgaste por abrasión severa y bajo impacto.
- Usado en la industria minera, siderúrgica, construcción, ladrillera, cementera, agrícola y todas aquellos sectores donde los materiales están expuestos a desgaste abrasivo severo.
- Ideal para la recuperación y protección de dientes, cucharas, baldes y cubos de draga, sinfiles de transporte, paletas de mezcladoras, uñas de palas, bombas de arena, aletas de ventiladores, etc.
- Para ollas, moldes y bordes de cucharas de fundición, que sufren desgaste por abrasión o erosión de escorias o metal líquido a temperaturas elevadas.

CARACTERÍSTICAS DEL ACERO SAE 1060



GRUPO
AISI 1060
ACERO PARA
MAQUINARIAS

Color de identificación:
Blanco

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL

NORMAS EQUIVALENTES	
AFNOR (Fr)	1060
BS (Ing)	080A62
DIN (Ale)	1601
JIS (Jap)	S58C
UNI (Ital)	C60
Grado Thyssen	CK60

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA				
CARBONO	COBRE	FOSFORO	SILICIO	MANGANESO
C	S	P	Si	Mn
0.55 - 0.65	0.030 (Max)	0.040 (Max)	0.15 - 0.25	0.60 - 1.00
COBALTO	NIOBLIO	ALUMINIO	VAZIO	TUNGSTENO
Co	Ni	Al	V	W
---	---	---	---	---

CARACTERÍSTICAS GENERALES	APLICACIONES
<p>Es un acero de construcción de relativo alto carbono que se utiliza como acero de construcción y de herramientas medianamente resistentes.</p> <p>Endurece fácilmente mediante temple en agua también en aceite para piezas pequeñas.</p> <p>Su maquinabilidad es aceptable en estado recocido o normalizado.</p> <p>Buena resistencia al desgaste en estado benfizado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Partes de maquinarias pesadas. Se aplica en una gran variedad de resortes helicoidales y planas. Herramientas Manuales tales como martillos, cincos, destornilladores, alfileres, tuercas, etc. Elementos de Máquinas tales como engranajes, pernos, etc.

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL				
TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRÍAMIENTO	DUREZA	
			RC	HBN
NORMALIZADO	820 - 840	AIRE		241 (Max)
RECOCIDO	620 - 640	FORNO		235 (Max)
TEMPLE	810 - 840	AGUA, ACEITE	85 (Max)	
REVENIDO	200 - 240		Depende de la aplicación	
CEMENTACIÓN				



ESTADO DE ENTREGA www.sumindu.com

RECOCIDO DUREZA: 235 HBN (Max)

DUROMETRO INZISE



ISH-PHA Hardness Tester

<p>Supplied by dry cell (3x AAA) Standardized according to ASTM A956-02 Operating environment: Temperature: 0~50°C Humidity: 20%~85% Storage environment: Temperature: -10~60°C Humidity: 5%~95%</p> <div style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;">CE</div>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Hardness</th> <th style="text-align: left;">MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>01. Steel & Cast Steel</td><td>11. Low Carbon Steel</td></tr> <tr><td>02. Alloy Tool Steel</td><td>12. Hi Carbon Steel</td></tr> <tr><td>03. Stainless Steel</td><td>13. Chrome Steel</td></tr> <tr><td>04. Grey Cast Iron</td><td>14. Cr-V Steel</td></tr> <tr><td>05. Ductile Iron</td><td>15. Cr-Ni Steel</td></tr> <tr><td>06. Cast Al Alloys</td><td>16. Cr-Mo Steel</td></tr> <tr><td>07. Brass</td><td>17. Cr-Ni-Mo Steel</td></tr> <tr><td>08. Bronze</td><td>18. Cr-Mn-Si Steel</td></tr> <tr><td>09. Copper</td><td>19. Hi Strength Steel</td></tr> <tr><td>10. Forging Steel</td><td>20. Stainless Steel</td></tr> </tbody> </table>	Hardness	MPa	01. Steel & Cast Steel	11. Low Carbon Steel	02. Alloy Tool Steel	12. Hi Carbon Steel	03. Stainless Steel	13. Chrome Steel	04. Grey Cast Iron	14. Cr-V Steel	05. Ductile Iron	15. Cr-Ni Steel	06. Cast Al Alloys	16. Cr-Mo Steel	07. Brass	17. Cr-Ni-Mo Steel	08. Bronze	18. Cr-Mn-Si Steel	09. Copper	19. Hi Strength Steel	10. Forging Steel	20. Stainless Steel
Hardness	MPa																						
01. Steel & Cast Steel	11. Low Carbon Steel																						
02. Alloy Tool Steel	12. Hi Carbon Steel																						
03. Stainless Steel	13. Chrome Steel																						
04. Grey Cast Iron	14. Cr-V Steel																						
05. Ductile Iron	15. Cr-Ni Steel																						
06. Cast Al Alloys	16. Cr-Mo Steel																						
07. Brass	17. Cr-Ni-Mo Steel																						
08. Bronze	18. Cr-Mn-Si Steel																						
09. Copper	19. Hi Strength Steel																						
10. Forging Steel	20. Stainless Steel																						

PRUEBAS DE DUREZA CON EL ELECTRODO AWS A5.13-EFe3

Test Report 600

Impact Unit: D

Material : Steel & Cast Steel

1 697 HLD ↓ 457 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:14:36

2 696 HLD ↓ 456 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:16:30

3 712 HLD ↓ 482 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:16:42

4 729 HLD ↓ 511 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:17:02

5 699 HLD ↓ 460 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:17:16

S = 33 HLD 55 HB

\bar{X} = 706 HLD 473 HB

Print Date: 25-04-2011 10:18:40



.....
Luis Alberto Hualpa Chauce
MT - PT - VT - Nivel II
ASNT - SNT - TC - 1A

PRUEBAS DE DUREZA CON EL ELECTRODO AWS A5.13-EFe3

Test Report 600 Mn

Impact Unit: D

Material : Steel & Cast Steel

1 689 HLD ↓ 445 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:19:31

2 734 HLD ↓ 520 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:19:39

3 736 HLD ↓ 524 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:19:50

4 673 HLD ↓ 421 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:20:10

5 708 HLD ↓ 475 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:20:19

S = 63 HLD 103 HB

\bar{X} = 708 HLD 477 HB

Print Date: 25-04-2011 10:20:47



Luis Alberto Hualpa Chauca
MT - PT - VT - Nivel II
ASNT - SNT - TC - 1A

PRUEBAS DE DUREZA CON EL ELECTRODO AWS A5.13-EFeCR-A8.

Test Report 1000

Impact Unit: D

Material : Steel & Cast Steel

1 753 HLD \downarrow 555 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:23:50

2 718 HLD \downarrow 492 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:24:03

3 728 HLD \downarrow 509 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:24:12

4 735 HLD \downarrow 522 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:24:23

5 749 HLD \downarrow 548 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:26:22

S = 35 HLD 63 HB

\bar{X} = 736 HLD 525 HB

Print Date: 25-04-2011 10:28:01



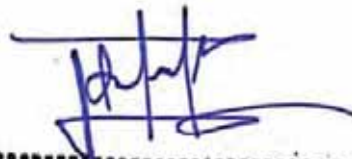
.....
Luis Alberto Hualpa Chauco
MT - PT - VT - Nivel II
ASNT - SNT - TC - 1A

PRUEBAS DE DUREZA PARA EL ACERO ASTM A36

Test Report *A 36*

Impact Unit: D
Material : Steel & Cast Steel
1 355 HLD ↓ 108 HB
Date: 25-04-2011 Time: 09:57:37
2 362 HLD ↓ 112 HB
Date: 25-04-2011 Time: 09:57:45
3 331 HLD ↓ 94 HB
Date: 25-04-2011 Time: 09:57:50
4 313 HLD ↓ 86 HB
Date: 25-04-2011 Time: 09:57:58
5 360 HLD ↓ 111 HB
Date: 25-04-2011 Time: 09:58:03

S = 49 HLD 26 HB
 \bar{X} = 344 HLD 102 HB
Print Date: 25-04-2011 09:58:21



.....
Luis Alberto Hualpa Chauce
MT - PT - VT - Nivel II
ASNT - SNT - TC - 1A

PRUEBAS DE DUREZA PARA EL ACERO SAE 1060

moelle Test Report 1060

Impact Unit: D

Material : Steel & Cast Steel

1 489 HLD ↓ 209 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:11:05

2 485 HLD ↓ 206 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:11:12

3 514 HLD ↓ 233 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:11:47

4 501 HLD ↓ 220 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:12:00

5 508 HLD ↓ 227 HB

Date: 25-04-2011 Time: 10:12:07

S = 29 HLD 27 HB

\bar{X} = 499 HLD 219 HB

Print Date: 25-04-2011 10:12:22



Luis Alberto Hualpa Chauce
MT - PT - VT - Nivel II
ASNT - SNT - TC - 1A

CALCULO DEL VOLUMEN DESGASTADO DEL SAE 1060

1. graficar la funcion
2. graficar el solido
3. hallar el volumen mediante la integral
4. $\text{integral}/2 = \text{volumen mm}^3$

WolframAlpha **SAE 1060**

`Plot[Sqrt[x - 12.51], {x, 0, 13}]`

Plot[Sqrt[x - 12.51], {x, 0, 13}]

`RevolutionPlot3D[{x, Sqrt[x - 12.51]}, {x, 0, 13}, AxesLabel -> {x, y, z}, RevolutionAxis -> {1, 0, 0}, PlotStyle -> {Opacity[0]}]`

RevolutionPlot3D[{x, Sqrt[x - 12.51]}, {x, 0, 13}, AxesLabel -> {x, y, z}, RevolutionAxis -> {1, 0, 0}, PlotStyle -> {Opacity[0.8]}]

`Integrate[Pi (Sqrt[x - 12.51])^2, {x, 0, 13}]`

Integrate[Pi * Sqrt[x - 12.51]^2, {x, 0, 13}]

`-245.453`

`[-245.453]/2`

`Abs[-245.453]/2`

122.727

CALCULO DEL VOLUMEN DESGASTADO DEL ASTM A36

1. graficar la funcion
2. graficar el solido
3. hallar el volumen mediante la integral
4. $\text{integral}/2 = \text{volumen mm}^3$

Wolfram|Alpha **ASTM A36**

Plot $\sqrt{x - 8.355}$, {x, 0, 10}

Plot[$\sqrt{x - 8.355}$], {x, 0, 10}]

RevolutionPlot3D $\sqrt{x - 8.355}$, {x, 0, 10}

RevolutionPlot3D[$\sqrt{x - 8.355}$], {x, 0, 10}, AxesLabel -> {x, y, z}, RevolutionAxis -> {1, 0, 0}, PlotStyle -> {Opacity[.9]}]

Integrate $\pi (\sqrt{x - 8.355})^2$, {x, 0, 10}

Integrate[$\pi (\sqrt{x - 8.355})^2$], {x, 0, 10}]

-105.4

| -105.4 | / 2

Abs[-105.4] / 2

52.7

CALCULO DEL VOLUMEN DESGASTADO DEL RECUBRIMIENTO DURO CON ELECTRODO AWS A5.13 EFE3

1. graficar la funcion
2. graficar el solido
3. hallar el volumen mediante la integral
4. $\text{integral}/2 = \text{volumen mm}^3$

WolframAlpha WOLFRAM|LION AWS A5.13 EFE3

`Plot[$\sqrt{x - 3.19}$], {x, 0, 10}]`

Plot[Sqrt[x - 3.19], {x, 0, 10}]

`RevolutionPlot3D[$\sqrt{x - 3.19}$], {x, 0, 10}`

AxisLabel -> {x, y, z}, RevolutionAxis -> {1, 0, 0}, PlotStyle -> {Opacity[0.9]}

RevolutionPlot3D[$\sqrt{x - 3.19}$], {x, 0, 10}, AxisLabel -> {x, y, z}, RevolutionAxis -> {1, 0, 0}, PlotStyle -> {Opacity[0.9]}

`Integrate[$\pi (\sqrt{x - 3.19})^2$, {x, 0, 10}]`

Integrate[$\pi (\sqrt{x - 3.19})^2$, {x, 0, 10}]

Out[4]= 16.6628

`|56.6628|/2`

Out[5]= 8.3314

CALCULO DEL VOLUMEN DESGASTADO DEL RECUBRIMIENTO DURO CON ELECTRODO AWS A5 .13 EFE3-MN

1. graficar la funcion
2. graficar el solido
3. hallar el volumen mediante la integral
4. $integral/2 = volumen\ mm^3$

WolframAlpha NOT FOR SALE EDITION **AWS A5 .13 EFE3-MN** 🔍 📄 / 1m

Plot[$\sqrt{x-2.41}$], {x, 0, 8}]

🔍 calculos relacionados+ 📄 resultados completos de Wolframalpha

Plot[Sqrt[x - 2.41], {x, 0, 8}]

RevolutionPlot3D[$\sqrt{x-2.41}$], {x, 0, 8}

🔍 calculos relacionados+ 📄 resultados completos de Wolframalpha

AxesLabel -> {x, y, z}, RevolutionAxis -> {1, 0, 0}

PlotStyle -> {Opacity[0.9]}

RevolutionPlot3D[$\sqrt{x-2.41}$], {x, 0, 8}, AxesLabel -> {x, y, z}, RevolutionAxis -> {1, 0, 0}, PlotStyle -> {Opacity[0.9]}

Integrate[$\pi \sqrt{x-2.41}^2$], {x, 0, 8}]

🔍 calculos relacionados+ 📄 resultados completos de Wolframalpha

Integrate[$\pi \sqrt{x-2.41}^2$, {x, 0, 8}]

39.9611

Integrate[$\pi \sqrt{x-2.41}^2$], {x, 0, 8}]

39.96105655366216/2

🔍 calculos relacionados+ 📄 resultados completos de Wolframalpha

Ab[39.96105655366216]/2

19.9805


CALCULO DEL VOLUMEN DESGASTADO DEL RECUBRIMIENTO DURO CON ELECTRODO AWS A5 .13 - EFeCr - A8

1. graficar la funcion
2. graficar el solido
3. hallar el volumen mediante la integral
4. $\text{integral}/2 = \text{volumen mm}^3$

WolframAlpha Notebook Edition AWS A5 .13 EFe Cr AB

Plot[$\sqrt{x - 2.19}$], {x, 0, 7}

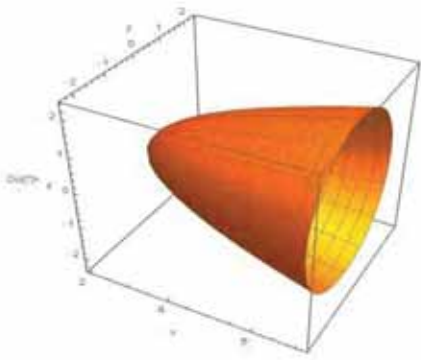
Plot[Sqrt[x - 2.19], {x, 0, 7}]



RevolutionPlot3D[$\sqrt{x - 2.19}$], {x, 0, 7}

AxisLabel -> {x, y, z}, RevolutionAxis -> {1, 0, 0}, PlotStyle -> {Opacity[0.5]}

RevolutionPlot3D[Sqrt[x - 2.19], {x, 0, 7}, AxesLabel -> {x, y, z}, RevolutionAxis -> {1, 0, 0}, PlotStyle -> {Opacity[0.5]}]



Integrate[$\pi (\sqrt{x - 2.19})^2$, {x, 0, 7}]

Integrate[Pi * Sqrt[x - 2.19]^2, {x, 0, 7}]

28.808404633418396

|28.8084|/2

Integrate[Pi * Sqrt[x - 2.19]^2, {x, 0, 7}]

Integrate[Pi * Sqrt[x - 2.19]^2, {x, 0, 7}]

14.4042

RAZÓN SOCIAL DE LA EMPRESA

27/1/2021

SUNAT - Consulta RUC

Consulta RUC

Resultado de la Búsqueda
Número de RUC: 10238266187 - MENDOZA QUISPE JORGE
Tipo Contribuyente: PERSONA NATURAL CON NEGOCIO
Tipo de Documento: DNI 23826618 - MENDOZA QUISPE, JORGE
Nombre Comercial: E.G.E.M.
Fecha de Inscripción: 15/12/2014 Fecha de Inicio de Actividades: 15/12/2014
Estado del Contribuyente: ACTIVO
Condición del Contribuyente: HABIDO
Domicilio Fiscal: -
Sistema Emisión de Comprobante: MANUAL Actividad Comercio Exterior: SIN ACTIVIDAD
Sistema Contabilidad: MANUAL
Actividad(es) Económica(s): Principal - CIU 51502 - VTA. MAY. MAQUINARIA, EQUIPO Y MATER. Secundaria 1 - CIU 50304 - VENTA PARTES, PIEZAS, ACCESORIOS.

<https://e-consulderuc.sunat.gob.pe/04-0/rmcomercio/r03004/lee>

1/2