

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LOS PROCESOS PARA RECUBRIMIENTOS DUROS EN LA RECUPERACIÓN DE PIEZAS INDUSTRIALES

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA**

CHALÁ GONZALÓN JORGE XAVIER
xavierchala@yahoo.es

MOLINA VELASCO EDWIN DANIEL
daniel26807@gmail.com

DIRECTOR: ING. DIEGO ESPINOSA
espinosadie@gmail.com

QUITO, JULIO 2010

DECLARACION

Nosotros, Chalá Gonzalón Jorge Xavier y Molina Velasco Edwin Daniel declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se encuentran en esta tesis.

A través de la presente cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a esta tesis, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Jorge Xavier Chalá
C.I: 172077717-4

Edwin Daniel Molina
C.I: 050239834-0

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Chalá Gonzalón Jorge Xavier y Molina Velasco Edwin Daniel, bajo mi supervisión.

Ing. Diego Espinosa
Director de Tesis

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien día a día el camino de mi vida, a mis padres que más que nada han sido mis amigos y siempre me han brindado su apoyo incondicional sin ellos todo esto no sería posible, a mis hermanos que siempre han estado conmigo, a mis profesores por formarme académicamente y especialmente al Ing. Diego Espinosa por su apoyo en esta tesis, a mis compañeros con quienes compartí mucho tiempo en las aulas.

Jorge Xavier Chalá

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis padres que siempre me han brindado su apoyo y haberme criado en un ambiente de amor y comprensión, a mis hermanos quienes siempre han estado conmigo en las buenas y en las malas.

Jorge Xavier Chalá

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la sabiduría para realizar este proyecto, a mis padres por darme los estudios y por el apoyo q me brindaron, a mis amigos con los que compartí muchos años de m vida, al Ing. Diego Espinosa que con su ayuda me preparo para la vida fuera de la universidad.

Daniel Molina

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres ya que con su fortaleza y confianza en mi logre culminar una de mis metas, a mi familia por estar pendientes de mi y por ultimo dedico esta tesis a mi abuelito que desde el cielo me cuida y guía mi camino.

Daniel Molina

CONTENIDO

RESUMEN.....	I
INTRODUCCIÓN.....	II
CAPITULO I.....	1
PROCESO DE SOLDADURA DE MANTENIMIENTO Y RECUPERACIÓN.....	1
1.1 DEFINICIÓN PROCESO DE SOLDADURA DE MANTENIMIENTO Y RECUPERACIÓN.....	1
1.1.1 SOLDADURA DE PRODUCCION.....	1
1.1.2 SOLDADURA DE MANTENIMIENTO.....	1
1.2 PROCESOS DE SOLDADURA.....	2
1.2.1 SOLDURA ELECTRICA AL ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO.....	3
1.2.1.1DEFINICIÓN.....	3
1.2.1.2. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	3
1.2.1.3 EQUIPOS.....	4
1.2.2 SOLDADURA POR ARCO DE TUNGSTENO Y GAS (GTAW).....	9
1.2.2.1 DEFINICION.....	9
1.2.2.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	9
1.2.2.3 EQUIPO.....	10
1.2.3 SOLDADURA DE ARCO CON NUCLEO DE FUNDENTE (FCAW).....	14
1.2.3.1 DEFINICIÓN.....	14
1.2.3.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	14
1.2.3.3 EQUIPO.....	16
1.2.4 SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO (SAW).....	17
1.2.4.1 DEFINICIÓN.....	17
1.2.4.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	18
1.2.4.3 EQUIPOS.....	19
1.2.5 SOLDADURA CON PROTECCIÓN GASEOSA Y ALIMENTACIÓN CONTINUA DE ELECTRODO SOLIDO (GMAW).....	22
1.2.5.1 DEFINICIÓN.....	22
1.2.5.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	22
1.2.5.3 EQUIPO.....	23
1.2.6 SOLDADURA POR ARCO DE PLASMA.....	24
1.2.6.1 DEFINICIÓN.....	24
1.2.6.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	25
1.2.6.3 EQUIPO.....	26
1.2.7 SOLDADURA POR OXIACETILENICO.....	27
1.2.7.1 DEFINICION.....	27
1.2.7.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	28
1.2.7.3 EQUIPO.....	28
1.2.8 SOLDADURA DE RESISTENCIA.....	30
1.2.8.1 DEFINICIÓN.....	30

1.2.8.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	30
1.2.8.3 EQUIPOS.....	31
CAPITULO II.....	32
PROCESO DE DESGASTE EN METALES.....	32
2.1 PROCESO DE DESGASTE.....	32
2.1.1 DEFINICIÓN.....	32
2.2 MECANISMOS DE DESGASTE.....	33
2.2.1 DESGASTE POR ABRASIÓN.....	33
2.2.2 DESGASTE ADHESIVO (FRICCIÓN).....	36
2.2.3 DESGASTE POR IMPACTO.....	37
2.2.4. DESGASTE POR CALOR.....	38
2.2.5 CAVITACIÓN.....	40
2.2.6 EROSIÓN.....	42
2.2.7 DESGASTE CORROSIVO.....	43
2.2.8 DESGASTE POR FATIGA SUPERFICIAL.....	46
2.3 DAÑOS SUPERFICIALES POR DESGASTE.....	48
2.3.1 LUDIMIENTO.....	48
2.3.2 RAYADO.....	48
2.3.3 QUEMADURAS.....	49
2.3.4 ABOLLADURA.....	50
2.3.5 OXIDACIÓN.....	50
2.3.6 SOCAVADURAS.....	51
2.3.7 PICADURA SUPERFICIAL.....	52
2.3.8 ESCAMACIONES.....	53
2.3.9 ASTILLADO.....	54
2.4 MODOS DE FALLA.....	55
2.4.1 EXCESIVA DEFORMACIÓN E INESTABILIDAD ELÁSTICA.....	56
2.4.2 EXCESIVA DEFORMACIÓN PLÁSTICA.....	57
2.4.3 INESTABILIDAD PLÁSTICA.....	58
2.4.4 FATIGA.....	59
2.4.5 CREEP Y CREEP-FATIGA.....	60
2.4.6 FRACTURA RÁPIDA.....	60
2.4.7 CORROSIÓN, EROSIÓN, CORROSIÓN-FATIGA, CORROSIÓN BAJO TENSIONES, ETC.....	62
CAPITULO III.....	63
MATERIALES QUE PUEDEN SER REPARADOS MEDIANTE SOLDADURA DE MANTENIMIENTO.....	63
3.1 TIPOS DE MATERIALES.....	63

3.1.1 ACEROS DE BAJO Y MEDIO CONTENIDO DE CARBONO, (DE 0.10 A 0.25% Y DE 0.25 A 0.55%).....	63
3.1.2. ACEROS DE ALTO CARBONO, 0.55 % Y MAS.....	63
3.1.3. ACEROS DE BAJA ALEACIÓN.....	63
3.1.4. ACEROS AL MANGANESO: DE 11 A 14% Mn.....	63
3.1.5 ACEROS INOXIDABLES SERIE 300.....	64
3.1.6. NIQUEL Y SUS ALEACIONES.....	64
3.1.7. HIERRO FUNDIDO.....	64
3.2 APLICACIONES INDUSTRIALES.....	64
3.2.1 SIDERURGICA.....	65
3.2.2 MINERIA.....	66
3.2.3 CEMENTERAS.....	68
3.2.4 INGENIOS AZUCAREROS.....	69
3.2.5 PETROLERAS.....	70
3.2.6 FABRICA DE CERAMICA.....	71
3.2.7 INDUSTRIA PAPELERAS Y CELULOSA.....	72
3.2.8 CARTONERAS.....	72
3.2.9 ACEITERAS.....	73
3.2.10 AUTOMOTRIZ.....	73
3.2.11 FABRICAS DE ALUMINIO.....	73
3.2.12 MINAS DE SAL.....	74
3.2.13 SERVICENTROS DE SERVICIO DE MAQUINARIA PESADA.....	74
3.2.14 ASTILLEROS Y REPARACIONES NAVALES.....	74
3.2.15 GENERACION DE ENERGIA.....	75
CAPITULO IV.....	76
NORMA AWS A5.21.....	76
4.1 ESPECIFICACIONES PARA ELECTRODOS Y VARILLAS UTILIZADAS EN RECUBRIMIENTOS DUROS.....	76
4.1.1 UTILIDAD.....	76
4.1.2 FABRICACIÓN.....	76
4.2 ELECTRODOS REVESTIDOS.....	76
4.2.1 EL ALCANCE.....	77
4.2.2 CLASIFICACION DE ELECTRODOS DESCONTINUADOS.....	77
4.2.3 REFERENCIAS NORMATIVAS.....	78
4.2.4 CLASIFICACIÓN.....	78
4.3 GUÍA DE ESPECIFICACIONES AWS DE LA SUPERFICIE DE LOS ELECTRODOS, PARA LA SOLDADURA DE ARCO DE METAL REVESTIDOS.....	83
4.3.1 SISTEMA DE LA CLASIFICACIÓN AWS A.5.21.....	83
4.4 DESCRIPCIÓN Y USO DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS.....	84

4.4.1	LOS ELECTRODOS DEL HIERRO-BASE.....	84
4.4.1.1	EFe1 Y ELECTRODOS DE EFe2.....	84
4.4.1.2	LOS ELECTRODOS DE EFe3.....	85
4.4.1.3	LOS ELECTRODOS DE EFe4.....	85
4.4.1.4	LOS ELECTRODOS DE EFe5.....	86
4.4.1.5	LOS ELECTRODOS DE EFe6.....	86
4.4.1.6	LOS ELECTRODOS DE EFe7.....	86
4.4.1.7	LOS ELECTRODOS DE EFeMn. (EFeMn-A, EFeMn-B).....	87
4.4.1.8	LOS ELECTRODOS DE EFeMnCr.....	87
4.4.1.9	EFeCr-A1A Y ELECTRODOS DE EFeCr-A4.....	88
4.4.1.10	LOS ELECTRODOS DE EFeCr-A2.....	88
4.4.1.11	LOS ELECTRODOS DE EFeCr-A3.....	89
4.4.1.12	LOS ELECTRODOS DE EFeCr-A5.....	89
4.4.1.13	EFeCr-A6 Y ELECTRODOS DE EFeCr-A7.....	89
4.4.1.14	LOS ELECTRODOS DE EFeCr-A8.....	89
4.4.1.15	LOS ELECTRODOS DE EFeCr-EX.....	90
4.4.2	LOS ELECTRODOS DE REVESTIMIENTO DE COBALTO-BASE.....	90
4.4.2.1	LOS ELECTRODOS DE ECoCr-A.....	90
4.4.2.2	LOS ELECTRODOS DE ECoCr-B.....	91
4.4.2.3	LOS ELECTRODOS DE ECoCr-C.....	91
4.4.2.4	LOS ELECTRODOS DE ECoCr-E.....	91
4.4.3	LOS ELECTRODOS DE REVESTIMIENTO BAJOS AL NÍQUEL.....	92
4.4.3.1	LOS ELECTRODOS DE ENiCr-C.....	92
4.4.3.2	LOS ELECTRODOS DE ENiCrMo-5A.....	93
4.4.3.3	LOS ELECTRODOS DE ENiCrFeCo.....	93
4.4.4	LOS ELECTRODOS REVESTIDOS DE ALEACIÓN DE BASE DE COBRE.....	93
4.4.4.1	DUREZA.....	94
4.4.5	LOS ELECTRODOS REVESTIDOS DE CARBURO DE TUNGSTENO.....	95
CAPITULO V.....		96
APLICACIONES.....		96
5.1	PREPARACION DE LOS MATERIALES PREVIOS A LA SOLDADURA.....	96
5.1.1	BALLESTA.....	96
5.1.1.1	CARACTERÍSTICAS.....	96
5.1.1.2	PREPARACIÓN DE LA BALLESTA PARA LA REPARACIÓN.....	96
5.1.2	RUEDA DENTADA CÓNICA.....	98
5.1.2.1	CARACTERÍSTICAS.....	98
5.1.2.2	PREPARACIÓN DE LA RUEDA DENTADA CÓNICA PARA LA REPARACIÓN.....	99
5.1.3	EJE DE TRANSMISIÓN.....	99
5.1.3.1	CARACTERÍSTICAS.....	99

5.2 PRÁCTICA Nº 1.....	101
5.2.1 TITULO: REPARACION DE BALLESTA.....	101
5.2.2 OBJETIVOS.....	101
5.2.3 EQUIPO UTILIZADO.....	101
5.2.4 PROCEDIMIENTO.....	101
5.2.5 ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS).....	103
5.3 PRÁCTICA Nº 2.....	104
5.3.1 TITULO: REPARACION DE LA RUEDA DENTADA CÓNICA.....	104
5.3.2 OBJETIVOS.....	104
5.3.3 EQUIPO UTILIZADO.....	104
5.3.4 PROCEDIMIENTO.....	104
5.3.5 ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS).....	105
5.4 PRÁCTICA Nº 3.....	106
5.4.1 TITULO: REPARACION DEL EJE DE TRANSMISIÓN.....	106
5.4.2 OBJETIVOS.....	106
5.4.3 EQUIPO UTILIZADO.....	106
5.4.4 PROCEDIMIENTO.....	106
5.4.5 ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS).....	107
5.5 ENSAYOS NO DESTRUCCTIVOS.....	109
5.5.1 DEFINICIÓN.....	109
5.5.2 CLASIFICACIÓN.....	109
5.5.2.1 LÍQUIDOS PENETRANTES.....	110
5.5.2.2 PARTÍCULAS MAGNETIZABLES.....	110
5.5.2.3 RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL POR RAYOS X.....	111
5.5.2.4 ULTRA SONIDO.....	112
5.6 PRÁCTICA Nº 1.....	114
5.6.1 TITULO: RADIOGRAFIA INDUSTRIAL DE LA BALLESTA.....	114
5.6.2 OBJETIVOS.....	114
5.6.3 EQUIPOS.....	114
5.6.4 PROCEDIMIENTO.....	114
5.6.5 RESULTADO.....	118
5.7 PRÁCTICA Nº 2.....	119
5.7.1 TITULO: LIQUIDOS PENETRANTES EN LA RUEDA DENTADA.....	119
5.7.2 OBJETIVOS.....	119
5.7.3 EQUIPOS.....	119
5.7.4 PROCEDIMIENTO.....	120
5.7.5 RESULTADO.....	121
5.8 PRÁCTICA Nº 3.....	122
5.8.1 TITULO: RADIOGRAFIA INDUSTRIAL DEL EJE DE TRANSMISIÓN.....	122
5.8.2 OBJETIVOS.....	122

5.8.3 EQUIPOS.....	122
5.8.4 PROCEDIMIENTO.....	122
5.8.5 RESULTADO.....	126
CAPITULO VI.....	127
COSTOS.....	127
6.1 APLICACIONES DEL CÁLCULO DE COSTOS.....	127
6.2 CONCEPTO DE COSTO.....	127
6.3 TIPOS DE COSTOS.....	128
6.4 ESTRUCTURA DE COSTOS.....	132
6.5 ELABORACION DE PRESUPUESTOS Y CONTROL DE COSTOS EN SOLDADURAS.....	132
6.5.1 COSTEO TRADICIONAL.....	132
6.6 CALCULOS.....	133
CAPITULO VII.....	135
7.1 CONCLUSIONES.....	135
7.2 RECOMENDACIONES.....	136
7.3 BIBLIOGRAFÍA.....	137
ANEXOS.....	138

INDICE GRAFICOS

FIGURA 1.1 ELEMENTOS DE UN CIRCUITO DE SOLDADURA TÍPICO EN LA SOLDADURA POR ARCO DE METAL.....	3
FIGURA 1.2 MÁQUINA SOLDADORA (AC, DC).....	5
FIGURA 1.3 GRAFICO DE UN ELECTRODO REVESTIDO.....	6
FIGURA 1.4 MUESTRA EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO DE TUNGSTENO Y GAS.....	10
FIGURA 1.5 SOPLETE DE GMAW.....	11
FIGURA 1.6 BOQUILLAS (GTAW).....	13
FIGURA 1.7 MAQUINA PARA SOLDAR (GMAW).....	13
FIGURA 1.8 SOLDADURA POR ARCO CON NÚCLEO DE FUNDENTE (FCAW).....	15
FIGURA 1.9 MÁQUINA PARA SOLDAR (FCAW).....	17
FIGURA 1.10 PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO.....	18
FIGURA 1.11 FUENTE DE POTENCIA SAW.....	20
FIGURA 1.12 (GMAW) ÁREA DE SOLDADO. (1) DIRECCIÓN DE AVANCE, (2) TUBO DE CONTACTO, (3) ELECTRODO, (4) GAS (5) METAL DERRETIDO DE SOLDADURA, (6) METAL DE SOLDADURA SOLIDIFICADO, (7) PIEZA A SOLDAR.....	22
FIGURA 1.13 MÁQUINA PARA SOLDAR GMAW.....	23
FIGURA 1.14 SOLDADURA POR ARCO DE PLASMA.....	26
FIGURA 1.15 MÁQUINA DE SOLDADURA POR PLASMA CON AIRE COMPRIMIDO SECO.....	27
FIGURA 1.16 FUNCIONAMIENTO DE LA SOLDADURA OXIACETILÉNICA.....	28
FIGURA 1.17 EQUIPO DE LA SOLDADURA OXIACETILÉNICA.....	29
FIGURA 1.18 SOLDADURA POR RESISTENCIA.....	31
FIGURA 1.19 MAQUINA DE SOLDADURA POR PUNTOS.....	31
FIGURA 2.1 DESGASTE ABRASIVO DE UN TORNILLO NITRURADO. UNA VEZ LA CRESTA SE GASTA EL MATERIAL BLANDO DEL ALMA PERMITE DESGASTE EN FORMA CÓNCAVA.....	36
FIGURA 2.2 DESGASTE ADHESIVO.....	37
FIGURA 2.3 DESGASTE POR IMPACTO.....	38
FIGURA 2.4 DESGASTE POR CALOR.....	39
FIGURA 2.5. DESGASTE PRODUCIDO POR LA CAVITACIÓN EN UN RODETE DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA.....	41
FIGURA 2.6 DAÑO POR CAVITACIÓN.....	42
FIGURA 2.7 DAÑO POR EROSIÓN.....	43
FIGURA 2.8 CORROSIÓN UNIFORME.....	44
FIGURA 2.9 CORROSIÓN GALVÁNICA.....	45
FIGURA 2.10 CORROSIÓN POR PICADURAS.....	45
FIGURA 2.11 CORROSIÓN INTERGRANULAR.....	46

FIGURA 2.12 DESGASTE POR FATIGA SUPERFICIAL.....	46
FIGURA 2.13 UN EJE DE TRANSMISIÓN Y UN BRAZO DE LA ARAÑA DEL DIFERENCIAL DE RUEDA CON LUDIMIENTO.....	48
FIGURA 2.14 PIÑÓN MOTRIZ – BAJO LUBRICANTE Y RONDANAS DE EMPUJE DEL PIÑÓN LATERAL – RAYADO.....	49
FIGURA 2.15 ENGRANE LATERAL HELICOIDAL – COJINETE Y DIFERENCIAL DE RUEDA QUEMADO.....	49
FIGURA 2.16 CONTAMINACIÓN – ABOLLADURAS.....	50
FIGURA 2.17 OXIDACIÓN DE UN METAL.....	50
FIGURA 2.18 TÍPICA CONFIGURACIÓN DE UNA SOCAVADURAS, MOSTRANDO LA SUPERFICIE Y LA FORMA DE ABANICO.....	51
FIGURA 2.19 CORONA Y PIÑÓN MOTRIZ – PICADO.....	53
FIGURA 2.20 CONO DEL COJINETE CON ESCAMACIONES.....	54
FIGURA 2.21 PIÑÓN MOTRIZ – ASTILLADO.....	55
FIGURA 2.22 PANDEO.....	57
FIGURA 2.23 INESTABILIDAD PLÁSTICA.....	58
FIGURA 2.24 FISURA POR FATIGA.....	59
FIGURA 3.1 COMPONENTE DEL TREN DE RODAJE.....	66
FIGURA 3.2 RECONSTRUCCIÓN DE OLLAS Y CONVERTIDORES.....	67
FIGURA 3.3 RECONSTRUCCIÓN DE MOLINOS.....	70
FIGURA 3.4 RECONSTRUCCIÓN TREN DE RODAJE.....	74
FIGURA 3.5 RECONSTRUCCIÓN DE EJES/FLECHAS.....	75
FIGURA 3.6 ROTOR DE TURBINA TIPO PELTON.....	75
FIGURA 5.1 PROCESO DE DESOXIDACIÓN BALLESTA, RUEDA DENTADA CÓNICA Y EJE DE TRANSMISIÓN.....	96
FIGURA 5.2 RECOCIDO DE LA BALLESTA.....	97
FIGURA 5.3 ENSAYO DE DUREZA BALLESTA.....	97
FIGURA 5.4 PROBETA PREPARADA PARA REALIZAR EL ENSAYO METALOGRÁFICO.....	98
FIGURA 5.5 ACERO TRATADO TÉRMICAMENTE POR TEMPLE Y REVENIDO, SE OBSERVA LA PRESENCIA DE MARTENSITA. ADEMÁS SE OBSERVA EN DETALLE INCLUSIONES DE SULFURO DE MANGANESO Y SILICATO 400X.....	98
FIGURA 5.6 ENSAYO DE DUREZA RUEDA DENTADA CÓNICA.....	99
FIGURA 5.7 PROBETA PREPARADA PARA REALIZAR EL ENSAYO METALOGRÁFICO.....	100
FIGURA 5.8 ACERO ALEADO DE ALTO CONTENIDO DE CARBONO, SE OBSERVA UNA ESTRUCTURA COMPLETAMENTE MARTENSÍTICA EN LA MATRIZ DEL MATERIAL. (MARTENSITA MÁS FINA). 400X.....	100
FIGURA 5.9 ENSAYO DE DUREZA EJE DE TRANSMISIÓN.....	101
FIGURA 5.10 PROCEDIMIENTO.....	102

FIGURA 5.11 REPARACIÓN DE LA RUEDA DENTADA.....	104
FIGURA 5.12 PROCEDIMIENTO.....	107
FIGURA 5.13 APLICACIÓN DE LÍQUIDOS PENETRANTES.....	110
FIGURA 5.14 EQUIPO DE PARTÍCULAS MAGNETIZABLES.....	111
FIGURA 5.15 EQUIPO DE RAYOS X.....	112
FIGURA 5.16 EQUIPO DE ULTRASONIDO.....	113
FIGURA 5.17 RECALDEO DEL EQUIPO.....	116
FIGURA 5.18 PREPARACIÓN DE LA BALLESTA.....	117
FIGURA 5.19 RADIOGRAFÍA BALLESTA.....	117
FIGURA 5.20 REVELADO DE LA PELÍCULA.....	118
FIGURA 5.21 RESULTADO DE LA RADIOGRAFÍA.....	118
FIGURA 5.22 TINTA PENETRANTE.....	119
FIGURA 5.23 THINNER.....	119
FIGURA 5.24 REVELADOR ACUOSA.....	120
FIGURA 5.25 APLICACIÓN DEL LÍQUIDO.....	120
FIGURA 5.26 APLICACIÓN DEL REVELADOR ACUOS.....	121
FIGURA 5.27 RESULTADO DEL ENSAYO.....	121
FIGURA 5.28 RECALDEO DEL EQUIPO.....	124
FIGURA 5.29 PREPARACIÓN DEL EJE DE TRANSMISIÓN.....	125
FIGURA 5.30 RADIOGRAFÍA DEL EJE DE TRANSMISIÓN.....	125
FIGURA 5.31 REVELADO DE LA PELÍCULA.....	126
FIGURA 5.32 RESULTADO DE LA RADIOGRAFÍA.....	126

INDICE TABLAS

TABLA 1.1 CÓDIGO DE COLORES Y ELEMENTOS DE ALEACIÓN.....	12
TABLA 1.2 ELECTRODOS DE TUNGSTENO Y BOQUILLAS RECOMENDADAS PARA DISTINTAS CORRIENTES (GAS AR).....	12
TABLA 4.1 LISTA DE ELECTRODOS DESCONTINUADOS.....	77
TABLA 4.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ELECTRODO.....	79
TABLA 4.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ELECTRODO.....	80
TABLA 4.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ELECTRODO.....	81
TABLA 4.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ELECTRODO DE TUNGSTENO.....	82
TABLA 4.6 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ELECTRODO DE TUNGSTENO.....	82
TABLA 4.7 COMPARACIÓN DE LOS ELECTRODOS SEGÚN SU CLASIFICACIÓN.....	84
TABLA 4.8 RANGOS DE DUREZA.....	95
TABLA 5.1 DIAGRAMA DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA DE RAYOS X, LABORATORIO DE END.....	114
TABLA 5.2 CALCULO DE PARÁMETROS.....	115
TABLA 5.3 TIEMPOS DE RECALDEO.....	116
TABLA 5.4 DIAGRAMA DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA DE RAYOS X, LABORATORIO DE END.....	122
TABLA 5.5 CALCULO DE PARÁMETROS.....	123
TABLA 5.6 TIEMPOS DE RECALDEO.....	124

CAPITULO I

PROCESO DE SOLDADURA DE MANTENIMIENTO Y RECUPERACIÓN

1.1 DEFINICIÓN PROCESO DE SOLDADURA DE MANTENIMIENTO Y RECUPERACIÓN

Un aspecto importante que hay que tomar en cuenta, es la diferencia de conceptos, entre soldadura de producción y soldadura de mantenimiento.

1.1.1 SOLDADURA DE PRODUCCIÓN

Es la soldadura que sirve para trabajos en serie y construcción de obras soldadas, en la cual se conocen todas las variables que intervienen en el proceso, como son: tipo de material base, régimen de soldadura, secuencia lógica de ejecución, amperaje, tipo y diámetro del electrodo, etc.

La soldadura es una de las ciencias más documentadas a nivel de la soldadura de producción, basta con referirse a los diferentes códigos, especificaciones y estándares, para determinar estas características y propiedades (llamadas variables esenciales, complementarias y suplementarias), por tanto todas las variables en la elaboración del producto, son conocidas. Ejemplo: normas AWS, ASI, ASME, etc.

1.1.2 SOLDADURA DE MANTENIMIENTO

En este tipo de soldadura generalmente se “trabaja a ciegas”, ya que, no se conoce con exactitud el metal base a soldar, generalmente son piezas contaminadas por corrosión y/o fracturadas y ningún caso es repetitivo, entonces el soldador de mantenimiento se convierte en un “artista”, que debe tener un claro conocimiento de los diferentes materiales de aporte, y las recomendaciones técnicas de las casas fabricantes de dichos materiales, esto no es un gran problema, pues el principio básico de la soldadura indica que al momento de realizarla, se debe buscar la homogeneidad, es decir, que tanto el material base como el material de aporte deben tener la misma composición y

propiedades, por lo que es necesario una permanente capacitación y actualización en sus conocimientos.

Una de las dificultades en la soldadura de mantenimiento se presenta cuando se desconoce la naturaleza del material base, para lo cual se debe recurrir a los análisis químicos y/o espectrométricos

Otra sería la diversidad de tipos y mecanismos de desgaste a que están expuestos los materiales, lo cual deriva a la terología la necesidad de aplicar aleaciones especiales y combinación de procesos de superiores calidades para preservar e incluso mejorar las propiedades de material base.

Al ser la terología, la ciencia que tiene como objetivo, el de minimizar los costos de mantenimiento, a través de la prolongación de la vida útil de las partes y piezas, esto lleva a encontrar la causa de deterioro de una determinada pieza y esto obliga a obtener la mayor información posible sobre el tipo de trabajo y condiciones de servicio de esta.

Para hacer el análisis detallado del problema se debe conocer:

- a) Metal base: tipo, composición, características, tratamiento térmico, etc.
- b) Tipo de trabajo: esfuerzos a que esta sometido, etc.
- c) Tipos de medio ambiente: con que trabaja en contacto (contaminantes)
- d) Temperatura de trabajo: la cual influye en las propiedades mecánicas del material.
- e) Mecanismo de desgaste presente.

1.2 PROCESOS DE SOLDADURA

La soldadura es un proceso para la unión de dos metales por medio de calor y/o presión y se define como la liga metalúrgica entre los átomos del metal a unir y el metal de aporte.

1.2.1 SOLDURA ELÉCTRICA AL ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO

1.2.1.1 DEFINICIÓN

La soldadura por arco de metal protegido (shielded metal arc welding, SMAW), es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando.

El núcleo del electrodo cubierto consiste en una varilla de metal sólida de material estirado o colado, viene en una varilla fabricada, encerrado metal en polvo en una funda metálica. La varilla del núcleo conduce la corriente eléctrica al arco y suministra el metal de aporte a la unión. Las funciones principales de la cobertura del electrodo son estabilizar el arco y proteger el metal derretido de la atmósfera por medio de los gases que se crean cuando el recubrimiento se descompone por el calor del arco.

1.2.1.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

La soldadura por arco de metal protegido es por mucho el más ampliamente utilizado de los procesos de soldadura por arco. Aprovecha el calor del arco para derretir el metal base y la punta de un electrodo consumible cubierto. El electrodo y el trabajo forman parte de un circuito eléctrico. Figura 1.1.

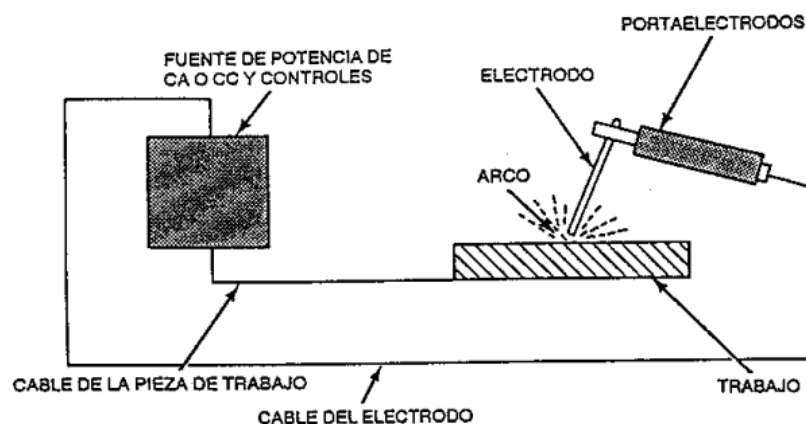


Figura 1.1 Elementos de un circuito de soldadura típico en la soldadura por arco de metal

Fuente: Manual de Soldadura AWS. Tomo 1

Este circuito comienza con la fuente de potencia eléctrica e incluye los cables

de soldadura, un porta electrodos, una conexión con la pieza de trabajo, la pieza de trabajo y un electrodo de soldadura por arco. Uno de los dos cables de la fuente de potencia se conecta al trabajo; el otro se conecta al porta electrodos.

El inicio del arco se produce cuando la punta del electrodo toca el metal base, provocando un corto circuito que da lugar al paso de la corriente eléctrica, luego, se eleva el electrodo separándolo del metal base un par de milímetros permitiendo de ese modo la formación del arco eléctrico. Debido a la pequeña superficie por la cual atraviesa la corriente eléctrica, hace que la temperatura, por efecto joule, se eleve rápidamente en esa zona, generando una emisión termoiónica que ioniza el arco. Los electrones desprendidos como consecuencia de la ionización, son incorporados al flujo de la corriente eléctrica dándole al arco una mayor estabilidad.¹

Una vez establecido el arco eléctrico, el calor generado por el mismo produce la fusión tanto del metal base, como del extremo del electrodo. A medida que se va consumiendo el electrodo se avanza con el mismo depositando el metal fundido sobre la superficie de la pieza, una vez solidificado el metal depositado, forma el cordón de soldadura.

1.2.1.3 EQUIPOS

Electricidad a partir del magnetismo y magnetismo a partir de la electricidad es el principio con el cual funcionan las máquinas eléctricas. Estos experimentos, junto con el perfeccionamiento de los electrodos, llevaron a la introducción de los muchos procesos para soldadura con arco que conocemos en la actualidad.

Máquinas de soldar con arco

Para lograr buenas soldaduras con electricidad, se necesita una máquina que controle la intensidad de la electricidad, aumente o disminuya la potencia según se requiera y que sea segura para manejarla. Hay cuatro tipos principales de máquina utilizadas en la soldadura con arco:

¹ MANUAL DE SOLDADURA AWS. Tomo I pag. 44

1. Transformador: Máquina de AC (corriente alterna)
2. Motogenerador: Máquina de DC (corriente continua)
3. Transformador – Rectificador: Máquina de AC y DC (una combinación de las dos)
4. Inversor: Máquina de AC

Máquinas de corriente alterna

Las máquinas de corriente alterna (AC) se llaman transformadores. Transforman la corriente de la línea de alimentación (que es de alto voltaje y de bajo amperaje) en una corriente útil, pero segura para soldar (que es de bajo voltaje y alto amperaje). Esto se efectúa dentro de la máquina con un sistema de un devanado primario, uno secundario y un reactor movable.

Máquinas de corriente continúa

Las máquinas de DC se clasifican en dos tipos básicos: generador y rectificador. En un generador de DC, la corriente se produce por la rotación de una armadura (inducido) dentro de un campo eléctrico. Esta corriente alterna generada la captan una serie de escobillas de carbón y un conmutador o colector y la convierten en corriente continua. Los rectificadores básicos son transformadores de AC a los que se ha agregado un rectificador. La corriente alterna que suministra el transformador se envía al rectificador que la convierte o rectifica a corriente continua.

Máquinas de AC y DC

Las máquinas de AC y DC suministran corriente alterna o continua. Figura 1.2.



Figura 1.2 Máquina soldadora (AC, DC)

Fuente: www.codinter.com.co

Inversores (inverter)

Es una fuente de energía de soldadura por arco que opera a muy altas frecuencias y que es mucho más economizadora de energía que las máquinas de transformador.

Electrodos revestidos

Un electrodo revestido está constituido por un alma metálica generalmente de forma cilíndrica, y de un revestimiento de composición química muy variable, según las características exigidas. Figura 1.3

La composición de los revestimientos es muy compleja; son mezcla de materiales orgánicos y minerales de modo que cada sustancia juega una función determinada, ya sea durante la fusión o durante la solidificación. Actuando como estabilizador del arco, componentes de la escoria, depuradores del metal, portadores de elementos útiles al metal fundido, etc.

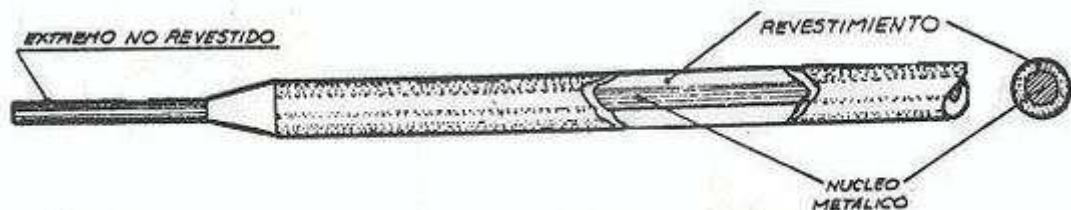


Figura 1.3 Grafico de un electrodo revestido

Fuente: www.alipso.com

El revestimiento es un material que está compuesto por distintas sustancias químicas. Tiene las siguientes funciones:

- a) Dirige el arco conduciendo a una fusión equilibrada y uniforme.
- b) Crea gases que actúan como protección evitando el acceso del Oxígeno y el Nitrógeno.
- c) Produce una escoria que cubre el metal de aporte, evitando el enfriamiento brusco y también el contacto del Oxígeno y del Nitrógeno.
- d) Contiene determinados elementos para obtener una buena fusión con los distintos tipos de materiales.
- e) Aporta al baño de fusión elementos químicos que darán al metal

depositado las distintas características para las cuáles fue formulado

f) Estabiliza el arco eléctrico.

Tipos de revestimientos.

1. Electrodo celulósicos.

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6010 (Na) y AWS-E-6011 (K).

Características específicas.

En estos electrodos la celulosa, obtenida a partir de la pulpa de la madera, es el componente principal. Esta sustancia orgánica se descompone por el calor desarrollado en el arco, proporcionando un gas protector que aísla y protege de la oxidación al Mn y al resto de los componentes. Las reacciones de reducción se desarrollan en una atmósfera de hidrógeno que cubre el metal fundido.

2. Electrodo de rutilo.

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6012 (Na) y AWS-E-6013 (K).

Características específicas.

El principal componente de estos electrodos es el rutilo, mineral obtenido a partir de menas que en su estado natural contienen de un 88-94% de TiO_2 . También puede extraerse de la ilemita, mineral compuesto por un 45-55% de TiO_2 y el resto de Fe_2O_3 . La protección en estos electrodos la proporciona la escoria.

3. Electrodo básicos.

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-7015 (Na) poco frecuentes y AWS-E-7016 (K) muy utilizados

Características específicas.

Los componentes principales son el carburo cálcico y el fluoruro cálcico. El revestimiento, que no contiene celulosa ni arcilla, proporciona un gas protector a base de CO_2 procedente del mármol y del fluoruro de silicio formado a partir

de la fluorita e espato flúor, en reacción con el SiO₂. Funden a temperaturas muy elevadas (aprox. 2.000 °C), razón por la cual necesitan un fundente en su composición, como el espato flúor.

Composición del revestimiento.

La composición de los revestimientos suele ser muy compleja. Se trata generalmente de una serie de sustancias orgánicas y minerales. En la fabricación de la pasta para el revestimiento suelen intervenir:

- óxidos naturales: óxidos de hierro, hematita (50% óxido férrico y 50% óxido de titanio), rutilo (óxido de titanio), sílice (óxido de silicio).
- silicatos naturales: caolín, talco, mica, feldepasto.
- productos volátiles: celulosa, serrín.
- fundentes
- productos químicos: carbonatos, óxidos.
- ferroaleaciones: de Mn, Si, Ti.
- aglomerantes: silicato sódico, silicato potásico.

Norma AWS A5.1

La especificación AWS A5.1. La cual se refiere a los electrodos para soldadura de aceros al carbono, trabaja con la siguiente designación para electrodos revestidos:

E XXYY 1 HZR

Donde:

E: Indica electrodo para soldadura por arco, el cual por definición conduce la corriente por arco.

XX: Dos dígitos que designan la mínima resistencia a la tensión del metal depositado, en Ksi.

YY: Dos dígitos que designan las posiciones de soldadura en que puede trabajar el electrodo, el tipo de revestimiento y el tipo de corriente adecuado para el electrodo. El primer dígito indica la posición (1=todas, 2=plana y horizontal, 4 todas pero especialmente para vertical descendente), la combinación de los dos dígitos indica las otras características.

Los designadores después del guión son opcionales:

1: Designa que el electrodo (E 7016, E 7018 ó E 7024) cumple con los requisitos de impacto mejorados E y de ductilidad mejorada en el caso E 7024.

HZ: Indica que el electrodo cumple con los requisitos de la prueba de hidrógeno difusible para niveles de "Z" de 4.8 ó 16 ml de H₂ por 100gr de metal depositado (solo para electrodos de bajo hidrógeno).

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

1.2.2 SOLDADURA POR ARCO DE TUNGSTENO Y GAS (GTAW)

1.2.2.1 DEFINICIÓN

El proceso ha recibido también los nombres de soldadura con electrodo no consumible y soldadura con tungsteno y gas inerte (TIG), pero la terminología de la AWS para este proceso es soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW) porque. En algunas aplicaciones es posible usar mezclas de gases protectoras que no son inertes.

Algunas suministran potencia de DC a pulsos y AC de polaridad variable. El electrodo de tungsteno se ha aleado con cantidades pequeñas de elementos activos para aumentar su emisividad; con esto ha mejorado el encendido del arco, la estabilidad del arco y la durabilidad de los electrodos. Se han identificado mezclas de gases protectores (argón, helio, etc.) que mejoran el rendimiento de la soldadura. Los investigadores están tratando de lograr otros avances en las áreas de control automático, visión y sensores de penetración, y controles de longitud del arco.

1.2.2.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

El proceso de soldadura por arco de tungsteno y gas. Figura 1.4. Utiliza un electrodo de tungsteno (o de una aleación de tungsteno) no consumible sostenido en un soplete. Se alimenta gas protector por el soplete para proteger el electrodo, el charco de soldadura y el metal de soldadura en proceso de solidificación de contaminación por parte de la atmósfera. El arco eléctrico se

produce por el paso de corriente a través del gas protector ionizado, que conduce la electricidad. El arco se establece entre la punta del electrodo y el trabajo. El calor generado por el arco funde el metal base. Una vez establecido el arco y el charco de soldadura, el soplete se mueve a lo largo de la unión y el arco funde progresivamente las superficies de empalme. Si se usa alambre de aporte, se alimenta por el borde delantero del charco de soldadura para llenar la unión.²

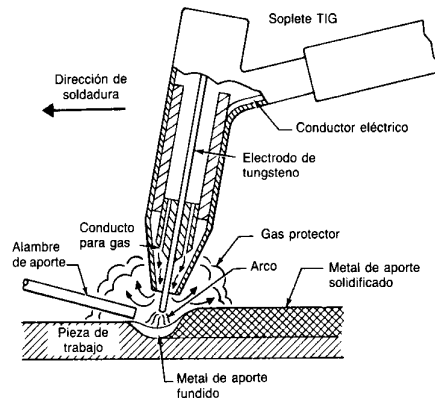


Figura 1.4 Muestra el proceso de soldadura por arco de tungsteno y gas.

Fuente: Manual de Soldadura AWS. Tomo 1

1.2.2.3 EQUIPO

Para GTAW incluye sopletes, electrodos y fuentes de potencia. Los sistemas de GTAW mecanizada pueden incluir controles de voltaje del arco, osciladores del arco y alimentadores de alambre.

Sopletes para soldar

Los sopletes de GTAW sostienen el electrodo de tungsteno que transporta la corriente de soldadura al arco y conducen el gas protector a la zona del arco.

Figura 1.5

Las especificaciones de los sopletes se refieren a la corriente de soldadura máxima que pueden transportar sin sobrecalentarse. La mayor parte de los sopletes está diseñada para manejar electrodos dentro de cierto intervalo de tamaños y diferentes tipos y tamaños de boquillas.

² MANUAL DE SOLDADURA AWS. Tomo I pag. 75

Casi todos los sopletes para aplicaciones manuales tienen un ángulo de cabeza (el ángulo entre el electrodo y el mango) de 120°. También hay sopletes con cabeza de ángulo ajustable, cabeza a 90° o cabeza en línea recta (tipo lápiz). Los sopletes de GTAW manuales a menudo cuentan con interruptores y válvulas auxiliares integradas a su mango para controlar la corriente y el flujo de gas. Los sopletes para GTAW mecanizada o automática por lo regular se montan en un dispositivo que centra el soplete sobre la unión, puede desplazar el soplete a lo largo de la unión, y puede ser modificado o puede mantener la distancia entre el soplete y el trabajo.

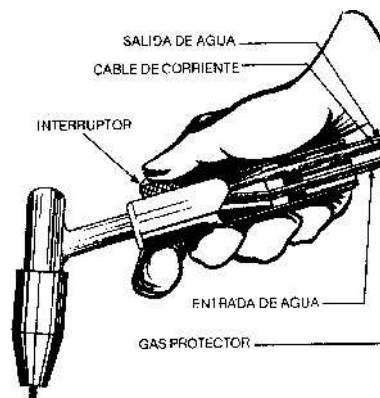


Figura 1.5 Soplete de GMAW

Fuente: www.garciayvaldivieso.com

Mandriles

Los electrodos de diferentes diámetros se sujetan en el porta electrodos por medio de mandriles del tamaño apropiado, típicamente fabricados con una aleación de cobre. El mandril sujeta el electrodo cuando se aprieta la tapa del soplete. Es indispensable que el electrodo y la superficie interior del mandril estén en contacto íntimo para una buena transferencia de la corriente sin sobrecalentamiento.

Norma AWS A5.12

Esta especificación establece los requisitos para la clasificación de los óxidos de tungsteno diversos electrodos de tungsteno para soldadura por arco de gas tungsteno y soldadura por arco de plasma. La clasificación se basa en la composición química de los electrodos. Los tamaños estándar, el acabado, la longitud, las cantidades, la identificación del producto, código de color, y los límites de la composición química. Tabla 1.1 y Tabla 1.2

Clasificación AWS	Color ^a	Elemento de aleación	Óxido de aleación	Porcentaje de óxido
EWP	Verde	--	---	-----
EWCe-2	Anaranjado	Cerio	CeO ₂	2
EWLa-1	Negro	Lantano	La ₂ O ₃	1
EWTh-1	Amarillo	Torio	ThO ₂	1
EWTh-2	Rojo	Torio	ThO ₂	2
EWZr-1	Marrón	Zirconio	ZrO ₂	0,25
EWG	Gris	No se especifica	-----	-----

a) El color puede aplicarse en forma de bandas, puntos, etc.

b) El fabricante debe especificar el tipo y contenido de óxidos de tierras raras

Tabla 1.1 Código de colores y elementos de aleación

Fuente: Manual de Soldadura AWS. Tomo 1

EWP= tungsteno puro

EWCe= tungsteno + cerio

EWLa= tungsteno + lantano

EWTh1= tungsteno + 1% torio

EWTh2= tungsteno + 2% torio

EWZr= tungsteno + 1% zirconio

Diámetro del electrodo		Diám. Int-boquilla	Corriente continua, A		Corriente alterna, A	
Pulg	mm		Polaridad directa ^a	Polaridad inversa ^a	Onda no balanceada ^b	Onda balanceada ^b
		Pulg	CCEN	CCEP		
0,010	0,25	1/4	Hasta 15		Hasta 15	Hasta 15
0,020	0,50	1/4	5-20		5-15	10-20
0,040	1,00	3/8	15-80		10-60	20-30
1/16	1,6	3/8	70-150	10-20	50-100	30-80
3/32	2,4	1/2	150-250	15-30	100-160	60-130
1/8	3,2	1/2	250-400	25-40	150-210	100-180
5/32	4,0	1/2	400-500	40-55	200-275	160-240
3/16	4,8	5/8	500-750	55-80	250-350	190-300
1/4	6,4	3/4	750-1100	80-125	325-450	325-450

a) Electrodo EWTh2; b) Electrodo EWP

Tabla 1.2 Electrodo de tungsteno y boquillas recomendadas para distintas corrientes (gas Ar)

Fuente: www.fain.uncoma.edu.ar

Boquillas

El gas protector se dirige a la zona de soldadura mediante boquillas o copas que se montan en la cabeza del soplete. Figura 1.6. El cuerpo del soplete también incluye difusores de patrón muy preciso que alimentan el gas protector a la boquilla. Su propósito es ayudar a que el escudo de gas que sale tenga un flujo laminar

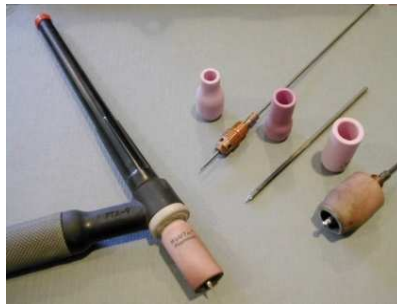


Figura 1.6. Boquillas (GTAW)

Fuente: www.gtaw-hugo.blogspot.com

Generadores de Soldadura

El procedimiento (TIG) O (GMAW) puede utilizarse cualquier grupo convencional, de corriente continua o de corriente alterna, de los que se emplean en la soldadura por arco, con electrodos revestidos. FIGURA 1.7. Sin embargo, es importante que permita un buen control de la corriente en el campo de las pequeñas intensidades. Esto es necesario con vistas a conseguir una buena estabilidad del arco incluso a bajas intensidades. lo que resulta especialmente interesante en la soldadura de espesores finos



Figura 1.7 Maquina para soldar (GMAW)

Fuente: www.brewerweldingandfabrication.com

1.2.3 SOLDADURA DE ARCO CON NÚCLEO DE FUNDENTE (FCAW)

1.2.3.1 DEFINICIÓN

La soldadura por arco con núcleo de fundente (*flux cored arc welding*, FCAW) es un proceso de soldadura por arco que aprovecha un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. Este proceso se emplea con protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin un escudo adicional de gas de procedencia externa, y sin aplicación de presión. El electrodo con núcleo de fundente es un electrodo tubular de metal de aporte compuesto que consiste en una funda metálica y un núcleo con diversos materiales pulverizados. Durante la soldadura, se produce un manto de escoria abundante sobre la superficie de la franja de soldadura.

El aspecto que distingue al proceso FCAW de otros procesos de soldadura por arco es la inclusión de ingredientes fundentes dentro de un electrodo de alimentación continua. Las notables características de operación del proceso y las propiedades de la soldadura resultante se pueden atribuir al empleo de este tipo de electrodo.

El proceso FCAW tiene dos variaciones principales que difieren en su método de protección del arco y del charco de soldadura contra la contaminación por gases atmosféricos (oxígeno y nitrógeno). Una de ellas, la FCAW con autoprotección, protege el metal fundido mediante la descomposición y vaporización del núcleo de fundente en el calor del arco. El otro tipo, la FCAW con escudo de gas, utiliza un flujo de gas protector además de la acción del núcleo de fundente. En ambos métodos, el material del núcleo del electrodo proporciona una cubierta de escoria sustancial que protege el metal de soldadura durante su solidificación.

1.2.3.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

El proceso FCAW combina características de la soldadura por arco de metal protegido (SMAW), la soldadura por arco de metal y gas (GMAW) y la soldadura por arco sumergido (SAW).

En el método con escudo de gas, el gas protector (por lo regular dióxido de carbono o una mezcla de argón y dióxido de carbono) protege el metal fundido del oxígeno y el nitrógeno del aire al formar una envoltura alrededor del arco y sobre el charco de soldadura. Casi nunca es necesario desnitrificar el metal de soldadura porque el nitrógeno del aire queda prácticamente excluido. Es posible, que se genere cierta cantidad de oxígeno por la disociación de CO_2 para formar monóxido de carbono y oxígeno. Las composiciones de los electrodos incluyen desoxidantes que se combinan con cantidades pequeñas de oxígeno en el escudo de gas.

En el método con autoprotección se obtiene a partir de ingredientes vaporizados del fundente que desplazan el aire y por la escoria que cubre las gotas de metal derretido y el charco de soldadura durante la operación. La producción de CO_2 y la introducción de agentes desoxidantes y desnitrurantes que proceden de ingredientes del fundente justo en la superficie del charco de soldadura explican por qué los electrodos con autoprotección pueden tolerar corrientes de aire más fuertes que los electrodos con escudo de gas. Es por esto que la FCAW con autoprotección es el método preferido para trabajo en el campo. Figura 1.8

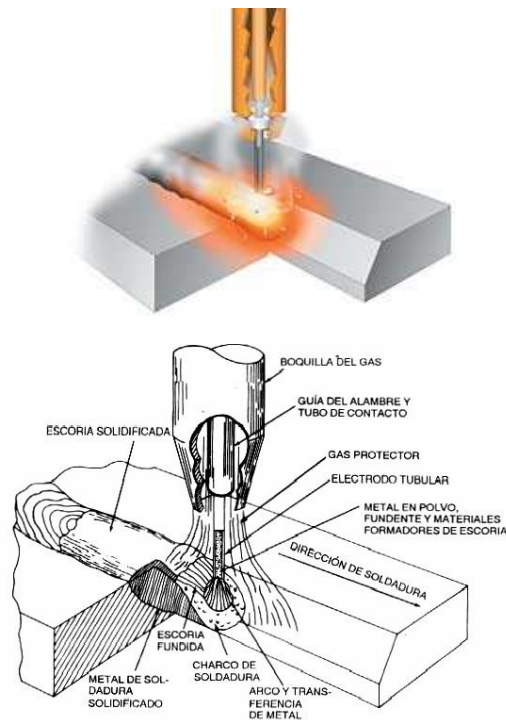


Figura 1.8 Soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW)

Fuente: www.gmaw-fcaw.blogspot.com

1.2.3.3 EQUIPO

Electrodos

La soldadura por arco con núcleo de fundente debe buena parte de su flexibilidad a la amplia variedad de ingredientes que se puede incluir en el núcleo de un electrodo tubular. El electrodo por lo regular consiste en una funda de acero de bajo carbono o de aleación que rodea un núcleo de materiales fundentes y de aleación. La composición del núcleo de fundente varía de acuerdo con la clasificación del electrodo y con el fabricante.

Norma AWS A5.22

El sistema de clasificación de ANSI/AWS A5.22, Especificaciones para electrodos de acero al cromo y al cromo-níquel con núcleo de fundente, resistentes a la corrosión, mismos que se clasifican con base en la composición química del metal de soldadura depositado y el medio protector que se emplea durante la soldadura.

EXXX-1: gas protector CO₂, DC

EXXX-2: gas protector Ar + 2% O, DC

EXXX-3: gas protector Ninguno, DC

EXXX-G: Gas protector No se especifica

Equipo semiautomático

El equipo básico para la soldadura por arco con núcleo de fundente auto protegida y con escudo de gas es similar. La principal diferencia radica en el suministro y regulación del gas para el arco en la variante con escudo de gas. La fuente de potencia recomendada es la de DC de voltaje constante, similar a las que se usan para soldadura por arco de metal y gas.

Equipo automático

Para este tipo de operación se recomienda una fuente de potencia de DC de voltaje constante diseñada para un ciclo de trabajo del 100%. El tamaño de la fuente de potencia está determinado por la corriente que requiere el trabajo por realizar. Como pueden ser necesarios electrodos grandes, tasas de

alimentación de electrodo elevadas y tiempos de soldadura prolongados, los alimentadores de electrodo por fuerza tienen motores impulsores de mayor capacidad y componentes para trabajo más pesado que en equipo similar para operación semiautomática. Figura 1.9



Figura 1.9 Máquina para soldar (FCAW)

Fuente: www.codinter.com.co

1.2.4 SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO (SAW)

1.2.4.1 DEFINICIÓN

La soldadura por arco sumergido (*submerged arc welding, SAW*) produce la coalescencia de metales calentándolos con un arco entre un electrodo de metal desnudo y el material. El arco y el metal derretido están “sumergidos” en un manto de fundente granular fusible sobre el trabajo. FIGURA 1.10 No se aplica presión, y el metal de aporte se obtiene del electrodo y en ocasiones de un suministro complementario como una varilla para soldar o gránulos metálicos.

Este tipo de soldadura se caracteriza por utilizar un flujo continuo de material protector en polvo o granulado, llamado flux. El flux es una sustancia protectora del arco y el baño de fusión de la atmósfera. Parte del flux es fundido, con lo cual protege y estabiliza el arco, genera escoria que aísla el cordón, e incluso puede beneficiar a la fusión. El flux, no fundido, es reutilizado. Los fluxes, se componen de varios minerales como SiO_2 , CaO , MnO , entre otros, con determinadas características de escorificación y viscosidad.

Este método es utilizado para unir metales féreos y aleaciones, y para recubrir materiales contra el deterioro. Además, permite la soldadura de piezas con poca separación entre ellas. Este tipo de soldadura puede aplicarse a gran velocidad en posiciones de sobremesa, para casi cualquier tipo de material y es altamente automatizable. Este tipo de soldaduras no es perjudicial y es agradable a la vista. La más grande dificultad de este método es que solo puede aplicarse en posiciones de sobremesa y cornisa, ya que de otra manera el flux es derramado, además, no es recomendable para unir espesores menores de 5mm, y el uso del flux encarece el trabajo. Su mayor área de trabajo es en la fabricación de tuberías de acero en espiral y, en general, y en cualquier tipo de acero inoxidable.

La soldadura por arco sumergido es un proceso de soldadura de producción versátil capaz de soldar con corrientes de hasta 2000 amperes de AC o DC, empleando uno o varios alambres o tiras de metal de aporte. Es posible usar fuentes de potencia tanto de AC como de DC en la misma soldadura simultáneamente.



Figura 1.10 Proceso de soldadura por arco sumergido

Fuente: www.secin.com.ar

1.2.4.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

En la soldadura por arco sumergido, el extremo de un electrodo continuo de alambre desnudo se inserta en un montículo de fundente que cubre el área o la unión que se va a soldar. A continuación, un mecanismo alimentador de alambre comienza a introducir el electrodo en la unión a una velocidad

controlada, y el alimentador se desplaza manual o automáticamente a lo largo de la soldadura. En la soldadura mecanizada o automática, el trabajo puede desplazarse debajo de un alimentador de alambre estacionario.

En todo momento, se alimenta fundente adicional adelante del electrodo y a su alrededor, y se distribuye continuamente sobre la unión. El calor producido por el arco eléctrico derrite progresivamente parte del fundente, el extremo del alambre y los bordes adyacentes del metal base, creando un charco de metal fundido debajo de una capa de escoria líquida. El baño fundido cerca del arco presenta mucha turbulencia, y burbujas de gas ascienden rápidamente a la superficie del charco. El fundente flota sobre el metal derretido y protege por completo de la atmósfera la zona de soldadura.

El fundente líquido puede conducir algo de corriente eléctrica entre el alambre y el metal base, pero el arco eléctrico es la fuente de calor predominante. El manto de fundente que flota sobre el charco de soldadura evita que los gases atmosféricos contaminen el metal de soldadura y disuelve las impurezas del metal base y del electrodo, que entonces flotan sobre el charco. Además, el fundente puede agregar ciertos elementos de aleación al metal de soldadura, o extraerlos de él.

Al avanzar la zona de soldadura a lo largo de la unión, el metal de soldadura primero y luego el fundente líquido se enfrían y solidifican, formando una franja de soldadura con una capa protectora de escoria encima.

1.2.4.3 EQUIPOS

El equipo requerido para soldadura por arco sumergido consiste en una fuente de potencia, un sistema de suministro de electrodo, un sistema de distribución de fundente, un mecanismo de desplazamiento y un sistema de control del proceso. El equipo opcional incluye sistemas de recuperación de fundente y equipo de posicionamiento o manipulación.

Fuentes de potencia

La elección de la fuente de potencia para un sistema de soldadura por arco sumergido desempeña un papel operativo muy importante. Figura 1.11

Hay varios tipos de fuente de potencia adecuados para la soldadura por arco sumergido. Las fuentes de potencia de DC pueden ser del tipo de transformador-rectificador o de motor-generador, y proporcionar salida de voltaje constante (VC), corriente constante (DC) o salida DC seleccionable. Las fuentes de potencia de AC por lo general son del tipo de transformador, y pueden suministrar una salida de DC de onda cuadrada. Como en general el proceso SAW es de corriente elevada con ciclo de trabajo alto, se recomienda una fuente de potencia capaz de suministrar un amperaje alto con ciclo de trabajo del 100%.



Figura 1.11 Fuente de potencia SAW

Fuente: www.codinter.com.co

Norma AWS A5.17

La especificación AWS A5.17. De materiales de aporte por proceso de arco sumergido para aceros al carbono, identifica los alambres con el prefijo E (electrodo), seguido de la letra que indica el contenido de manganeso y que puede ser L (bajo), M (medio), ó H (alto). A continuación sigue uno o dos dígitos que dan el contenido nominal de carbono en centésima de porcentaje.

Finalmente, algunos alambres traerán una letra K, para significar que son aceros calmados. Las propiedades mecánicas del depósito dependen del fundente que se use con cada alambre.

La denominación completa fundente alambre puede ser por ejemplo:

F6A2 EM12K la cual significa:

F: Fundente.

6: 60.000 Psi de resistencia a la tracción mínima.

A: Propiedades mecánicas obtenidas sin tratamiento post soldadura (as welded).

2: Resistencia al impacto de 27 mínimo a 20°F.

E: Electrodo.

M: Contenido medio de manganeso.

12: 0.12% de carbono (nominal).

K: Acero calmado.

Cabezas y sopletes de soldadura

Una cabeza de soldadura por arco sumergido comprende la unidad de motor alimentador y rodillos impulsores del alambre, la unidad de soplete y punta de contacto y accesorios para montar y posicionar la cabeza. Casi siempre se monta una boquilla de fundente en la cabeza de soldadura, con el fin de depositar el fundente un poco por delante del alambre de soldadura o en forma concéntrica a su alrededor.

Los motores alimentadores del alambre por lo regular son del tipo de imán permanente, de trabajo pesado, con caja de engranes reductores integrada, y alimentan el alambre a velocidades del orden de 8 a 235 mm/s (20 a 550 pulg/mm).

Equipo accesorio

El equipo accesorio que comúnmente se usa con SAW incluye equipo para desplazamiento, unidades de recuperación de fundente, equipo de fijación y equipo de posicionamiento.

Equipo para desplazamiento

El desplazamiento de la cabeza de soldadura en SAW Generalmente se efectúa por medio de un carro tipo tractor, un carro de riel lateral o un manipulador.

1.2.5 SOLDADURA CON PROTECCIÓN GASEOSA Y ALIMENTACIÓN CONTINUA DE ELECTRODO SOLIDO (GMAW)

1.2.5.1 DEFINICIÓN

La soldadura GMAW (gas metal arc welding) o Soldadura MIG (metal inert gas) es también conocida como Gas Arco Metal o MAG, donde un arco eléctrico es mantenido entre un alambre sólido que funciona como electrodo continuo y la pieza de trabajo. El arco y la soldadura fundida son protegidos por un chorro de gas inerte o activo. FIGURA 1.11 El proceso puede ser usado en la mayoría de los metales y la gama de alambres en diferentes aleaciones y aplicaciones es casi infinita.

La aplicación primaria de este proceso fue en la soldadura de aluminio. Por lo anterior, se acuñó el término *MIG* (metal gas inerte) y todavía algunos lo usan para referirse a este proceso. Entre los avances posteriores del proceso están la operación con bajas densidades de corriente y con corriente continua a pulsos, la aplicación a una gama más amplia de materiales y el empleo de gases y mezclas de gases reactivos (sobre todo CO_2).

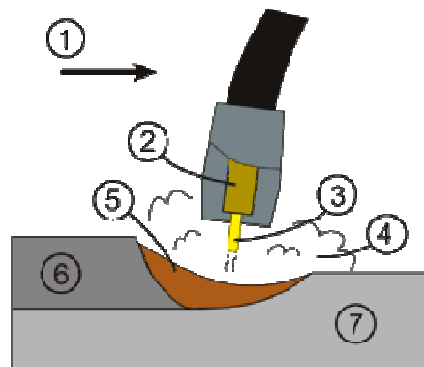


Figura 1.12 (GMAW) Área de soldado. (1) Dirección de avance, (2) Tubo de contacto, (3) Electrodo, (4) Gas (5) Metal derretido de soldadura, (6) Metal de soldadura solidificado, (7) Pieza a soldar.

Fuente: www.artegtaw.blogspot.com

1.2.5.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El proceso GMAW se basa en la alimentación automática de un electrodo continuo consumible que se protege mediante un gas de procedencia externa.

El proceso MIG opera en DC. (Corriente directa) usualmente con el alambre como electrodo positivo. Esto es conocido como "Polaridad Negativa" (reverse polarity), La "Polaridad Positiva" (straight polarity) es raramente usada por su poca transferencia de metal de aporte desde el alambre hacia la pieza de trabajo. Las corrientes de soldadura varían desde unos 50 Amperios hasta 600 Amperios en muchos casos en voltajes de 15V hasta 32V, un arco auto-estabilizado es obtenido con el uso de un sistema de fuente de poder de potencial constante (voltaje constante) y una alimentación constante del alambre.

1.2.5.3 EQUIPO

Los componentes básicos del equipo son la unidad de pistola soldadora y cables, la unidad de alimentación del electrodo, la fuente de potencia y la fuente de gas protector. Figura 1.13

La pistola guía el electrodo consumible y conduce la corriente eléctrica y el gas protector al trabajo, de modo que proporciona la energía para establecer y mantener el arco y fundir el electrodo, además de la protección necesaria contra la atmósfera del entorno. Se emplean dos combinaciones de unidad de alimentación de electrodo y fuente de potencia para lograr la autorregulación de la longitud del arco que se desea. Generalmente, esta regulación se efectúa con una fuente de potencia de voltaje (potencial) constante (que por lo regular tiene una curva voltampere prácticamente plana) en conjunción con una unidad de alimentación de electrodo de velocidad constante.



Figura 1.13 Máquina para soldar GMAW

Fuente: www.4.bp.blogspot.com

Norma AWS A5.18

La especificación AWS A5.18, la cual trae los requisitos del material de aporte para procesos con protección gaseosa (MIG/MAG, TIG y plasma) denomina los alambres de la siguiente forma:

ER70-SX

Donde:

E: Indica electrodo para soldadura por arco (para MIG/MAG).

R: Indica aporte que funde por un medio diferente que el conducir la corriente del arco eléctrico (para TIG y plasma)

70: La resistencia a la tracción nominal del depósito de soldadura la cual es igual para todas las referencias.

S: Indica el alambre sólido.

X: Es un número que indica la composición química del alambre

1.2.6 SOLDADURA POR ARCO DE PLASMA

1.2.6.1 DEFINICIÓN

La soldadura por arco plasma es conocida técnicamente como PAW (Plasma Arc Welding), y utiliza los mismos principios que la soldadura TIG, por lo que puede considerarse como un desarrollo de este último proceso. Sin embargo, tanto la densidad energética como las temperaturas son en este proceso mucho más elevadas ya que el estado plasmático se alcanza cuando un gas es calentado a una temperatura suficiente para conseguir su ionización, separando así el elemento en iones y electrones. La mayor ventaja del proceso PAW es que su zona de impacto es dos o tres veces inferior en comparación a la soldadura TIG, por lo que se convierte en una técnica óptima para soldar metal de espesores pequeños.

La protección generalmente se obtiene del gas caliente ionizado que sale del soplete. Este gas de plasma por lo regular se complementa con una fuente auxiliar de gas protector, el cual puede ser un solo gas inerte o una mezcla de gases inertes. No se aplica presión, y se puede añadir o no metal de aporte.

La soldadura por arco de plasma, al igual que la soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW), emplea un electrodo no consumible. El soplete de PAW tiene una boquilla que crea una cámara de gas alrededor del electrodo. El arco calienta el gas alimentado a la cámara hasta una temperatura tal que se ioniza y conduce la electricidad. Este gas ionizado se denomina plasma. El plasma sale por el orificio de la boquilla a una temperatura de unos 16 700°C (30000°F).³

1.2.6.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

La soldadura por arco de plasma es básicamente una extensión del proceso de soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW), pero tiene una densidad de energía de arco mucho más alta y una velocidad del plasma más alta en virtud de que este último se obliga a pasar por una boquilla constrictora, FIGURA 1.14

El gas de orificio es el gas que se hace pasar por el soplete rodeando al electrodo; se ioniza en el arco para formar el plasma, y sale por el orificio de la boquilla del soplete como un chorro de plasma. En la mayor parte de las operaciones, se suministra gas protector auxiliar a través de una copa de gas exterior, similar a la de la soldadura por arco de tungsteno y gas. El propósito de este gas auxiliar es cubrir el área de incidencia del chorro de plasma sobre la pieza de trabajo para que el charco de soldadura no se contamine.

La boquilla constrictora del arco a través de la cual pasa el plasma del arco tiene dos dimensiones principales: el diámetro de orificio y la longitud de garganta. El orificio puede ser cilíndrico o tener un ahusamiento convergente o divergente.

³ MANUAL DE SOLDADURA AWS. Tomo II pag. 330

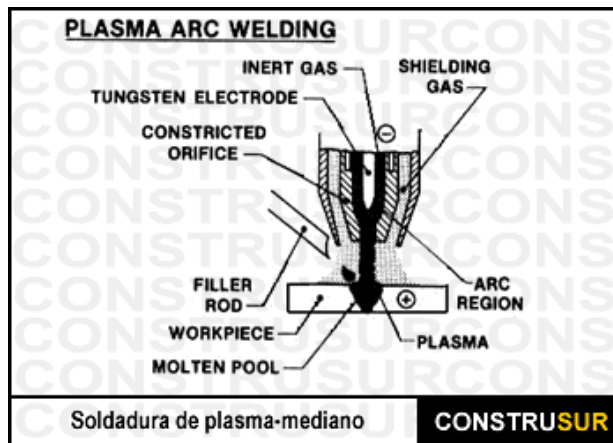


Figura 1.14 Soldadura por arco de plasma

Fuente: www.construsur.com.ar

1.2.6.3 EQUIPO

Este tipo de soldadura se realiza con equipo tanto manual como mecanizado.

FIGURA 1.15

Un sistema completo de soldadura por arco de plasma manual consiste en un soplete, una consola de control, una fuente de potencia, suministros de gas de orificio y protector, una fuente de refrigerante para el soplete y accesorios como un interruptor para encender y apagar el equipo, medidores de flujo de gas y un control remoto de la corriente. Actualmente está disponible equipo para trabajar en el intervalo de corrientes de 0.1 a 225 A, CC.

Se debe usar equipo mecanizado para aprovechar las ventajas de alta velocidad de soldadura y penetración profunda asociadas a la soldadura por arco de plasma de alta corriente. Una instalación mecanizada típica consiste en una fuente de potencia, una unidad de control, un soplete mecanizado, un soporte para el soplete o un carro para su desplazamiento, una fuente de refrigerante, un generador de potencia de alta frecuencia y suministros de gases protectores. Si es preciso, se usarán accesorios como un control de voltaje del arco y un sistema de alimentación de alambre de aporte. Existen sopletes para soldadura mecanizada con corrientes de hasta 500 A, CC.



Figura 1.15 Máquina de soldadura por plasma con aire comprimido seco

Fuente: www.codinter.com.co

1.2.7 SOLDADURA POR OXIACETILÉNICO

1.2.7.1 DEFINICIÓN

La soldadura con gas oxícombustible (*oxyfuel gas welding, OFW*) incluye todas las operaciones que emplean la combustión con oxígeno como medio de calentamiento. El proceso implica fundir el metal base y por lo regular un metal de aporte, empleando una flama generada en la punta de un soplete de soldadura. El gas combustible y el oxígeno se combinan en las proporciones correctas dentro de una cámara de mezclado que puede formar parte de la unidad de punta de soldadura.

El equipo que se usa para la soldadura con gas oxícombustible es de bajo costo, casi siempre portátil y lo bastante versátil como para emplearse en diversas operaciones relacionadas, como flexión y enderezado, precalentamiento, poscalentamiento, recubrimiento, soldadura fuerte y latonado.

Los gases combustibles comerciales tienen una propiedad en común: todos requieren oxígeno para sostener la combustión. Si ha de ser adecuado para operaciones de soldadura, un gas combustible, al arder con oxígeno, debe poseer las siguientes características:

- (1) Alta temperatura de flama.
- (2) Tasa de propagación de la flama elevada.

- (3) Suficiente contenido calorífico.
- (4) Mínima reactividad química de la flama con los metales base y de aporte.

1.2.7.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Este proceso usa una flama de gran poder calorífico para producir el calentamiento de las piezas a ser unidas. Por la combustión de gases como: acetileno, hidrógeno y a veces gas natural (propano-butano), en presencia de oxígeno; en este proceso puede o no haber aplicación de metal de aporte, aunque en la soldadura de reparación es necesario usar aporte de materiales duros, tales como aleaciones micropulverizadas y autofundentes. Figura 1.16.

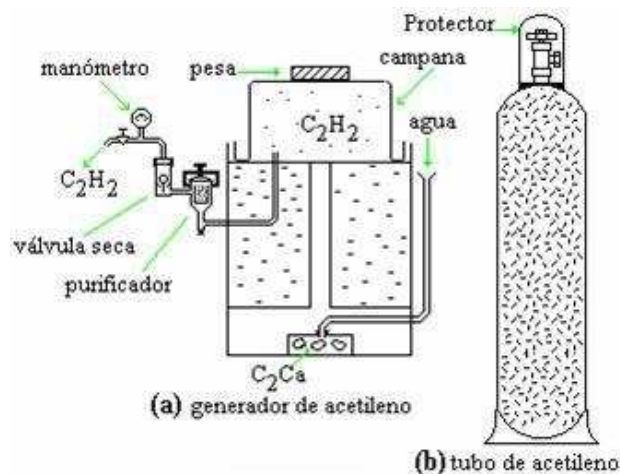


Figura 1.16 Funcionamiento de la soldadura oxiacetilénica
Fuente: www.epicadero.com

1.2.7.3 EQUIPO

La configuración del equipo es totalmente autónoma y relativamente económica; consiste en cilindros de gas combustible y oxígeno, cada uno con un regulador de gas para reducir la presión del cilindro, mangueras para llevar los gases al soplete, y una combinación de soplete y punta para ajustar la mezcla de los gases y producir la flama deseada. Figura 1.17

Cada uno de estos componentes desempeña un papel esencial en el control y aplicación del calor necesario para soldar. El mismo equipo básico se usa para soldadura fuerte con soplete y en muchas aplicaciones de calentamiento. Basta con sustituir la combinación apropiada de soplete y punta para convertir fácil-

mente el equipo a corte con oxígeno manual o controlado por carro. Puesto que el operador controla la forma como se usa este equipo, debe estar perfectamente familiarizado con las capacidades y limitaciones del equipo y con las reglas para una operación segura.

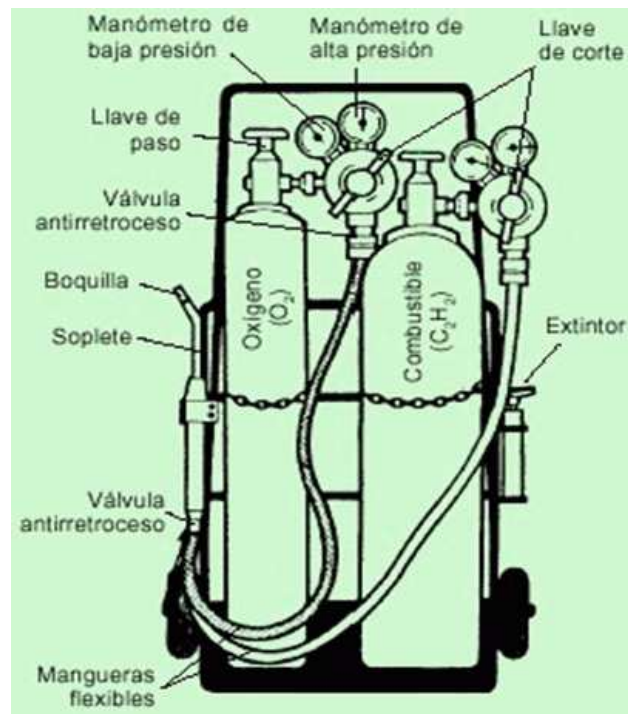


Figura 1.17 Equipo de la soldadura oxiacetilénica

Fuente: www.epicadero.com

Norma AWS A5.2

Especificación para varillas de aporte en uso oxiacetilénico, designación AWS:

A5.2-92

Una típica clasificación de electrodo oxiacetilénico para soldadura es:

ER 1100

E: indica tipo de electrodo

R: indica tipo de varilla

Dos dígitos siguientes (o tres): indican la resistencia a la tracción en miles de lbr/pulg²

El dígito o letra final: indican la composición química especial del electrodo

1.2.8 SOLDADURA DE RESISTENCIA

1.2.8.1 DEFINICIÓN

En la soldadura por resistencia, los metales se unen sin necesidad de material de aporte, es decir, por aplicación de presión y corriente eléctrica sobre las áreas a soldar. La cantidad de calor a aportar, depende de la resistencia eléctrica sobre dicha área. Este hecho, es un factor importante en este tipo de procesos de soldadura y le aporta el nombre a dicho proceso.

los procesos de soldadura por resistencia por puntos, por costura, por chispas o chisporroteo; se basan todos en la generación del calor en base al efecto Joule, que se presenta al circular corriente eléctrica, por un circuito en el cual hay contacto entre piezas no uniforme ni perfecta.

1.2.8.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La soldadura por resistencia implica la generación de calor pasando corriente a través de la resistencia causada por el contacto entre dos o más superficies de metal. Se forman pequeños charcos de metal fundido en el área de soldadura a medida que la elevada corriente (1.000 a 100.000 A) pasa a través del metal. En general, los métodos de la soldadura por resistencia son eficientes y causan poca contaminación, pero sus aplicaciones son algo limitadas y el costo del equipo puede ser alto.

Las dos piezas de metal que van a unirse son presionadas juntas por los electrodos de la máquina soldadora de manera que hagan un buen contacto eléctrico. Figura 1.18

Entonces se pasa la corriente eléctrica a través de ellos, se los calienta hasta que empiecen a derretir en el punto donde están en contacto. El metal fundido de las dos piezas fluye y las piezas se unen; entonces la corriente se apaga y el metal fundido se solidifica, formando una conexión metálica sólida entre las dos piezas. El término "Soldadura de Resistencia" viene del hecho de que es la propiedad eléctrica de la resistencia del metal a ser soldado la que causa el calor que se generará cuando la corriente fluye a través de él.

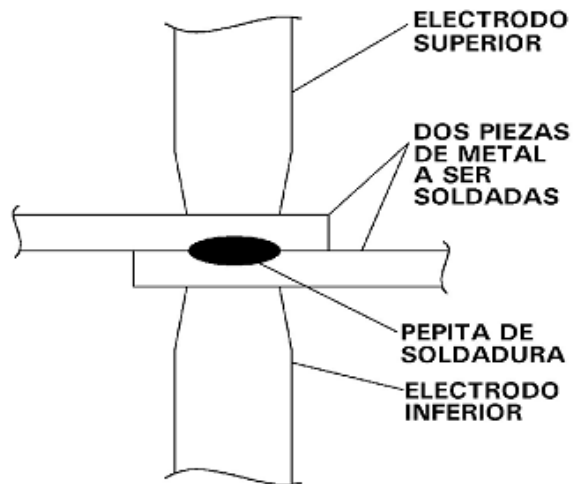


Figura 1.18 Soldadura por resistencia
 Fuente: www.blog.pucp.edu.pe

1.2.8.3 EQUIPOS

La soldadura por resistencia tiene varios métodos:

Soldadura por puntos. Figura 1.19

Soldadura por costura

Soldadura de rolado

Soldadura por destello

Soldadura por vuelco

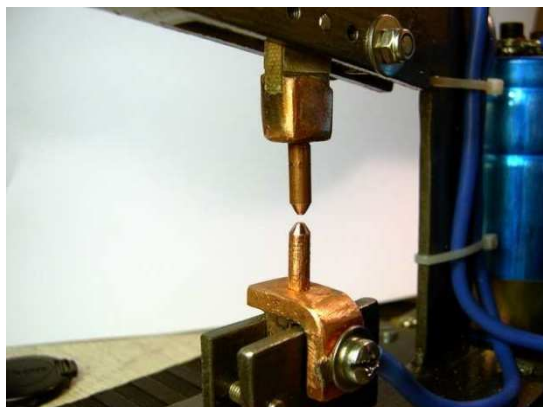


Figura 1.19 Máquina de soldadura por puntos
 Fuente: www.directindustry.es

CAPITULO II

PROCESO DE DESGASTE EN METALES

2.1 PROCESO DE DESGASTE

2.1.1 DEFINICIÓN

El desgaste puede definirse como el deterioro de la superficie debido al uso, ocurre en una amplia variedad de operaciones y en algunas industrias es muy elevado el gasto anual por concepto de reposición de piezas desgastadas.

El desgaste afecta a toda una variedad de condiciones, tales como tipo y modo de la carga, velocidad, cantidad y tipo de lubricante, temperatura, dureza, acabado de la superficie, presencia de materiales extraños y naturaleza química del medio. Así como las condiciones varían en cada aplicación, también lo hacen las correspondientes manifestaciones de desgaste. Además, en la práctica, el desgaste es, generalmente, una combinación de una o más formas elementales.

El desgaste puede ser destructivo o normal; pero aun cuando sea normal puede ser más severo de lo deseable, debido a la frecuencia con que tengan que reponerse esas partes. El desbastado de pistones en los motores de combustión interna, las picaduras y socavaduras en los engranes de transmisión, el rozamiento en prensas de ajuste forzado y la corrosión por cavitación en la superficie de un cilindro, son manifestaciones del desgaste.

El desgaste no ocasiona fallas violentas, pero trae como consecuencias: reducción de la eficiencia de operación, pérdidas de potencia por fricción, incremento del consumo de lubricantes, eventualmente conduce al reemplazo de componentes desgastados y a la obsolescencia de las máquinas en su conjunto.

2.2 MECANISMOS DE DESGASTE

Son los desprendimientos de materiales en componentes mecánicos pueden variar notablemente, de muy intenso a despreciable. En cualquier caso, ello puede significar una pérdida de eficiencia y/o la inutilidad completa del sistema.

2.2.1 DESGASTE POR ABRASIÓN

Es el desgaste producido por partículas abrasivas que se deslizan sobre la superficie metálica produciendo desprendimiento de material, dislocaciones de cristales y ralladuras profundas. Este desgaste se pone de manifiesto en equipos agrícolas, de construcción y minería. Figura 2.1. También se observa en el equipamiento empleado en la preparación de las arenas de moldeo de fundición. En una estructura determinada la intensidad de desgaste por abrasión depende de la forma, dureza y tamaño de los granos y partículas abrasivas.

La velocidad de desgaste depende del grado de penetración del abrasivo en la superficie y por lo tanto es función de la dureza superficial del material. La dureza, la tenacidad y sobre todo la rugosidad de las partículas abrasivas, acentúan la abrasión, mientras que la fragilidad de éstas atenúa su efecto.

Si la dureza del abrasivo es muy superior a la dureza de la superficie fraccionada, el desgaste es fuerte. Si por lo contrario es más blando la velocidad de desgaste es lenta. Se debe tener en cuenta que si la dureza de ambos es similar, el más leve cambio de una de ellas puede aumentar considerablemente el desgaste.

Otros factores que afectan el desgaste abrasivo son la temperatura, las cargas que actúan sobre la superficie de trabajo, condiciones ambientales tales como la humedad y el grado de compactación de las partículas. Se considera que todo desgaste abrasivo del material es un agrietamiento por fragilidad, como resultado de actos de deformación plástica y endurecimiento que se repiten cíclicamente.

El desgaste abrasivo se puede clasificar en:

Abrasión penetrante

Este tipo de desgaste se caracteriza por altos esfuerzos (generalmente causados por impacto) y da como resultado un considerable micro deformación de la superficie. Otra característica importante es que como el abrasivo suele tener buen apoyo, su acción penetrante puede compararse a la de una herramienta de corte

Las tasas de desgaste abrasivo generalmente se expresan en términos de milésimas por hora, que representa la velocidad normal a que el metal se elimina de la superficie del material. Por lo general, las tasas de este tipo de desgaste tienden a ser más altas que las del desgaste pulverizante o erosivo (excepto para la erosión a altas velocidades).

Abrasión pulverizante (o de alto esfuerzo)

Este tipo de abrasión ocurre cuando dos superficies de desgaste se frotan entre sí en un medio arenoso con suficiente fuerza para producir trituración en las partículas de mineral o en otros abrasivos atrapados entre las dos superficies. Las cargas normales sobre las superficies generalmente son bajas. Sin embargo, como el área real de apoyo (los granos) es considerablemente inferior al área de aplicación de la carga, los esfuerzos sobre los granos individuales son excesivamente altos. En un caso, se encontró un valor del orden de 300,000 psi. Estos altos esfuerzos son capaces de ocasionar pequeñas grietas o fracturas en los constituyentes frágiles tales como los carburos toscos que pueden existir en la estructura de algunas aleaciones resistentes al desgaste. Como la resistencia a la trituración por compresión incluso de los minerales más duros, es relativamente baja (por ejemplo, 300,000 psi para el cuarzo), los granos se fracturan fácilmente. Los granos rotos, aparte de ser abrasivos, están afilados y pueden rayar el acero del tipo más duro. El deterioro ocurre entonces por rayado, por flujo plástico local y agrietamiento microscópico.

Abrasión por erosión (abrasión de bajo esfuerzo)

Los principales factores que ocasionan desgaste por erosión son la velocidad y el bajo impacto cuando el movimiento es paralelo a la superficie. Por lo común este desgaste depende de la dureza de las partículas y en muchas ocasiones también de los filos que éstas presentan. Las partículas abrasivas pueden estar suspendidas o conducidas por un fluido (agua o aire) o pueden fluir por su propio peso (canal de arena).

Si el impacto es muy bajo, el mejor criterio para la resistencia al desgaste es usar el acero más duro posible con un alto contenido de carbono. Este último factor proporciona una mayor proporción de carburos duros en la estructura.

Es importante destacar que en la práctica el desgaste no se presenta en forma simple, sino que aparece combinado como:

Impacto, abrasión y presión: en rodillos, cadenas y rodaje de tractores.

Impacto, abrasión y temperatura: en martillos y cuchillas de cizalla.

Impacto y presión: en martillos de pilón y machacadoras, quebradoras.

Abrasión, erosión y corrosión: válvulas y asientos, tornillos sinfín.

Fricción, corrosión y cavitación: impulsores, álabes de turbinas.

En este tipo de desgaste pueden observarse tres regímenes en dependencia de las durezas de los materiales interactuantes.

Régimen débil: cuando la dureza del abrasivo es menor que la del metal.

Régimen de transición: cuando la dureza del abrasivo es aproximadamente igual a la del metal.

Régimen severo: cuando la dureza del abrasivo es mayor que la del metal.



Figura 2.1 Desgaste abrasivo de un tornillo nitrurado. Una vez la cresta se gasta el material blando del alma permite desgaste en forma cóncava

Fuente: www.lavonn.com

2.2.2 DESGASTE ADHESIVO (FRICCIÓN)

Es la acción de dos metales que se desplazan el uno sobre el otro sin un material intermedio. Este tipo de desgaste se caracteriza por el "coeficiente de fricción relativa" (presión, estado superficial, velocidad relativa, medio, temperatura).

También se lo llama rayado, muesca o arañazo; el desgaste adhesivo resulta cuando hay deslizamiento de partes en contacto y si salientes microscópicas se unen por soldadura bajo presión a temperaturas locales muy altas (la pieza en conjunto no se calienta a esta temperatura). Figura 2.2.

Se puede eliminar el desgaste adhesivo previniendo el contacto metal con metal, introduciendo películas de lubricantes antifricción, separando así los dos metales, el desgaste adhesivo entonces no ocurre; de ser necesario pueden usarse lubricantes de extrema presión los cuales reaccionan químicamente con la superficie "ensuciándola" para prevenir soldadura. Debido al calor generado en el desgaste adhesivo, se debe tener cuidado de no llegar en la interface a la temperatura en la cual el lubricante fallará.

Los metales que tienden a ser mutuamente solubles, se desgastan más que los que son realmente insolubles. También las superficies que son ásperas o muy pulidas se rayan con mayor facilidad que las superficies que son no muy lisas, en estos últimos no hay salientes de consideración, pero si existen pequeños reservorios que permiten retener el lubricante. El rayamiento puede también contribuir a la iniciación de la fatiga por picaduras (pitting).

Casos de rozamiento metal-metal:

Ruedas de locomotoras (900°C)

Paletas de mezcladora de arena (400-600°C)

Correderas, cojinetes, ejes, cadenas, piñones

Acoplamientos mecánicos

Raíles

Cilindros de laminación



Figura 2.2 Desgaste adhesivo

Fuente: www.sibsc.com

2.2.3 DESGASTE POR IMPACTO

Los efectos de la acción local, por choque o por elevada compresión, de una masa dura sobre una superficie, se identifica como desgaste por impacto.

Figura 2.3

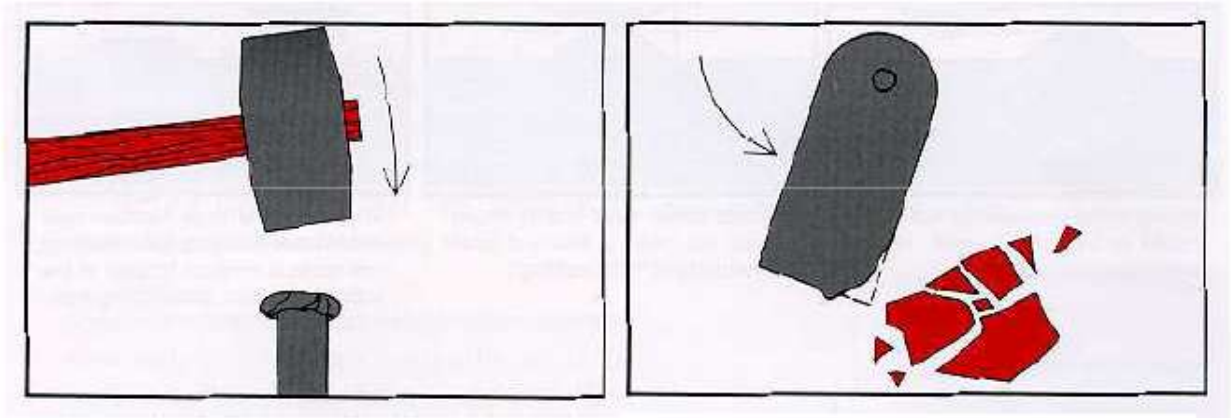


Figura 2.3 Desgaste por impacto

Fuente: www.soldadura.org.ar

El desgaste dependerá de la cadencia de los choques, de la velocidad de los mismos y del peso de la pieza. El principal factor a tener en cuenta, es el límite elástico. Si el límite elástico del material afectado, es superior al límite elástico unitario aplicado, se producirá únicamente deformación elástica y nunca permanente. Por el contrario, si el límite elástico es inferior, se producirá una deformación plástica permanente, homogénea y más o menos localizada, tendremos riesgos de fisuración.

Normalmente este fenómeno estará combinado con un desgaste por abrasión a temperatura:

Martillos de forja

Trefilación de raíles

Los materiales resistentes a los choques se caracterizan por una tenacidad elevada (indeformabilidad), un límite de rotura elevado, y capacidad para endurecerse con el uso.

2.2.4. DESGASTE POR CALOR

Influye sobre estructuras endurecidas por tratamiento térmico, reblandeciéndolas. Esto puede causar cambios de fase que incrementen la dureza y fragilidad, y puede acelerar el ataque químico, tal como la oxidación y exfoliación. Figura 2.4

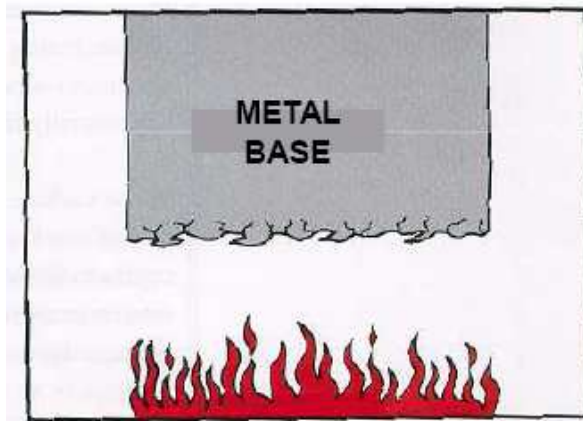


Figura 2.4 Desgaste por calor

Fuente: www.soldadura.org.ar

Si las superficies se deslizan entre sí, el calor de fricción se disipa hacia los materiales relativamente fríos ubicados bajo la superficie, pero suficiente calor se concentra en unos cuantos contactos locales, por lo que la temperatura superficial local se vuelve muy alta. Como la tasa de calor transferido por conducción es proporcional a la diferencia de temperaturas entre el volumen y la superficie en contacto, obviamente esta tasa decrecerá si la temperatura del medio (y la de la masa del material) también se eleva. Por lo tanto, se necesitará menos energía para la fusión y soldadura de cada par de asperezas, y en consecuencia, la tasa de desgaste aumentará.

Algunas aleaciones metálicas y refractarias a alta temperatura han indicado que, en ambos casos, las tasas de desgaste tienden a disminuir al aumentar las conductividades térmicas y al reducirse las capacidades por unidad de volumen, aun cuando los mecanismos de desgaste para metales y refractarios no sean necesariamente iguales.

El calor de fricción local no sólo modifica las propiedades de los revestimientos superficiales sujetos a desgaste, sino que además acelera cuales quiera reacciones químicas o transformaciones estructurales que pudieren afectar la fuerza de fricción, que es el corte total de todos los contactos locales.

Sin embargo, el problema es considerablemente más complejo, debido a la presencia de óxidos y otros contaminantes producidos por reacción o

adsorbidos por la superficie. En general, si el óxido (o contaminante) es duro y se adhiere a la superficie del metal formando una película continua, el deslizamiento y el coeficiente de fricción serán esencialmente los correspondientes a óxido contra óxido. Mientras esta película permanezca intacta, las propiedades del óxido regirán el comportamiento de los materiales ante la fricción, y el coeficiente de fricción será independiente a la temperatura. Por supuesto, si la película se rompe no se cumplirá lo anterior.

Los materiales con presencia de elementos que formen óxidos duros, estables, tenaces y que tienen un punto de fusión elevado, o materiales que no formen óxidos (Ni, Mo, Co), son resistentes a este tipo de desgaste.

Una regla simple, pero de aplicación efectiva, consiste en prever un porcentaje de Cromo igual al 25%, que formará una película de óxidos resistentes a la oxidación hasta 1000°C.

Las aleaciones "base Cobalto y Tungsteno" son evidentemente resistentes a la oxidación, poseen elevadas características mecánicas en caliente, incluida la dureza, factores que les confieren alta resistencia al desgaste en condiciones difíciles (abrasión-oxidación-temperatura).

2.2.5 CAVITACIÓN

La cavitación es la formación de burbujas en un fluido que tiene movimiento relativo a alguna superficie sólida. Cuando la velocidad cambia, el vacío provocado o la fricción del fluido ocasionan conversión de energía en el fluido, de tal manera que la presión estática se reduce a la presión de vapor del líquido, ocasionando ebullición y formando burbujas de cavitación. Figura 2.5.

Si el flujo es lo suficientemente intenso, la presión estática cae en la garganta por abajo de la presión de vapor del líquido, produciéndose la cavitación. A medida que el líquido recupera presión estática en la sección divergente aguas abajo de la garganta, las burbujas desaparecen y el líquido es empujado con tal fuerza, que se producen presiones instantáneas extremadamente altas. Si el

colapso (desaparición de la burbuja) sobreviene en un punto sobre los linderos de la superficie, la pared recibirá impactos de carga repetidos.



Figura 2.5. Desgaste producido por la cavitación en un rodete de una bomba centrífuga

Fuente: www.ingenieros2011unefa.blogspot.com

Casos de cavitación:

Alambres de turbinas, palas de dirección de turbinas, Ventiladores, Rotores de bombas, Hélices de propulsión, Centrales de válvulas de vapor.

Daño por cavitación.

El daño por cavitación es una forma especial de corrosión-erosión debido a la formación y al colapso de burbujas de vapor en un líquido cerca de una superficie metálica, que ocurre en turbinas hidráulicas, hélices de barcos, impulsores de, bombas y otras superficies sobre las cuales se encuentran líquidos de alta velocidad con cambios de presión.

Un daño por cavitación tiene un aspecto semejante a picaduras por corrosión, pero las zonas dañadas son más compactas y la superficie es más irregular en el caso de la cavitación. El daño por cavitación se atribuye parcialmente a efectos de desgaste mecánico. La corrosión interviene cuando el colapso de la burbuja destruye la película protectora.

Se forma una burbuja de cavitación sobre la película protectora.

El colapso de la burbuja causa la destrucción local de la película.

La superficie no protegida del metal está expuesta al medio corrosivo y se forma una nueva película por medio de una reacción de corrosión.

Se forma una nueva burbuja en el mismo lugar, debido al aumento de poder nucleante de la superficie irregular.

El colapso de la nueva burbuja destruye otra vez la película.

La película se forma de nuevo y el proceso se repite indefinidamente hasta formar huecos bastante profundos.

El mecanismo anterior también funciona sin la presencia de una película protectora, ya que la implosión de la burbuja ya es suficiente para deformar el metal plásticamente y arrancarle pedazos de material. Se acepta generalmente que la cavitación es un fenómeno de corrosión-erosión. Figura 2.6

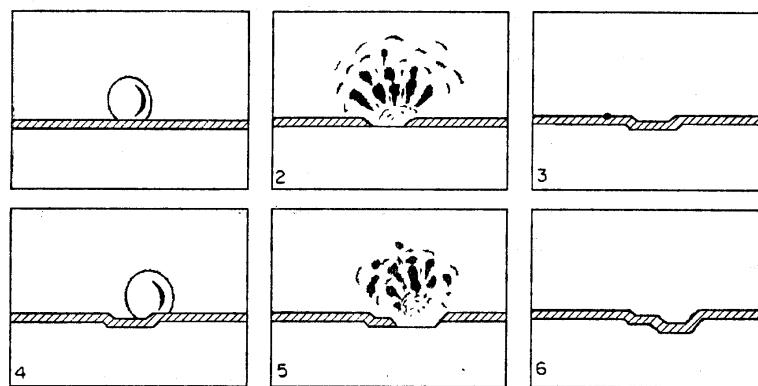


Figura 2.6 Daño por cavitación

Fuente: www.dieselmot.blogspot.com

2.2.6 EROSIÓN

Cuando el movimiento de un agente corrosivo sobre una superficie de metal acelera sus efectos destructivos debido al desgaste mecánico y a la corrosión, este efecto se denomina Corrosión por Erosión. La importancia relativa del desgaste mecánico y de la corrosión es a menudo difícil de determinar, y varía considerablemente de una situación a otra. El papel de la erosión se atribuye generalmente a la eliminación de películas superficiales protectoras: por ejemplo, las películas protectoras formadas por el óxido generado por el aire. Un metal oxidado ralentiza su deterioro porque la superficie ya oxidada dificulta que el interior continúe oxidándose. Si por ejemplo el polvo o la arena,

impulsadas por el viento, eliminan esa capa exterior de óxido, el metal continuará deteriorándose al haber perdido su protección.

La corrosión por erosión tiene generalmente el aspecto de pequeños hoyos lisos. El ataque puede también exhibir un patrón direccional relacionado con la trayectoria tomada por el corroyente, al igual que por movimientos sobre la superficie del metal. La corrosión por erosión prospera en condiciones de alta velocidad, turbulencia, choque, etc. De manera frecuente, aparece en bombas, mezcladores y tuberías, particularmente en curvas y codos. Figura 2.7. Éstos se evitan mediante cambios en el diseño, o seleccionando un material más resistente. Este material, además de ser más duro, generalmente debe presentar una resistencia a la corrosión superior incluso en condiciones estancadas o sin movimiento de fluidos.



Figura 2.7 Daño por erosión

Fuente: www.aqua-service.com.ar

2.2.7 DESGASTE CORROSIVO

La corrosión puede ser definida en varias formas, dos de las más comunes son:

Es la destrucción o deterioro de los materiales debido a la reacción entre ellos y su medio ambiente

Es la destrucción de materiales por causas diferentes a esfuerzos o sobrecargas mecánicas.

La corrosión ha sido clasificada en muchas y diferentes formas. Un método es dividir la corrosión en corrosión a baja y alta temperatura, Otra forma de clasificarla es separar en lo que es oxidación y corrosión electroquímica, pero

la mejor forma de clasificar este fenómeno parece ser en corrosión húmeda y corrosión seca. La corrosión húmeda ocurre cuando un líquido está presente; generalmente se involucra soluciones acuosas de materiales inorgánicos y este tipo de corrosión es la que produce el mayor volumen de deterioro de los materiales metálicos; un ejemplo común es el deterioro que sufren los aceros por acción del agua, La corrosión seca. Se produce por la acción de vapores y gases exclusivamente por esta razón este tipo de problema se presenta más a menudo en sistemas que trabajan a alta temperatura.

Tipos de corrosión

Se clasifican de acuerdo a la apariencia del metal corroído, las más comunes son:

Corrosión uniforme: donde la corrosión química o electrolytica actúa uniformemente sobre toda la superficie del metal. Figura 2.8

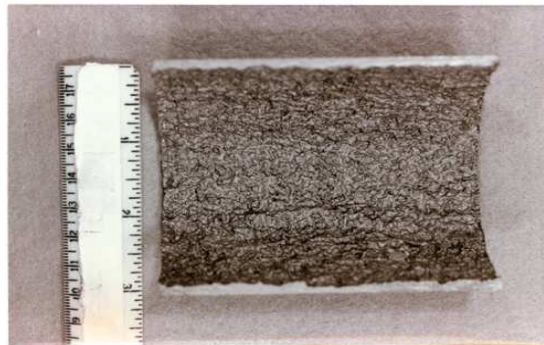


Figura 2.8 Corrosión uniforme

Fuente: www.resnapshot.com

Corrosión galvánica: ocurre cuando metales diferentes se encuentran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo, a mayor diferencia de potencial el material con más activo será el ánodo. Figura 2.9

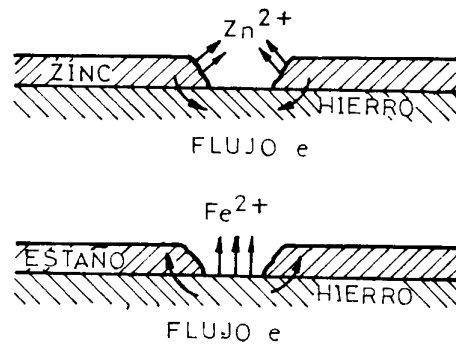


Figura 2.9 Corrosión galvánica

Fuente: www.cerezo.pntic.mec.es

Corrosión por picaduras: Las picaduras son una de las formas más destructivas de corrosión pues es una causa potencial de falla en equipos debido a la perforación y/o la penetración. Estas ocurren generalmente en las superficies de metal protegidas por revestimientos de óxido tal como acero inoxidable, aluminio, etc. Típicamente en circuitos de agua para caldera y de alimentación, el aumento del riesgo de corrosión por picadura aumenta dramáticamente con el aumento del contenido de oxígeno presente en el líquido, aquí se producen hoyos o agujeros por agentes químicos. Figura 2.10



Figura 2.10 Corrosión por picaduras

Fuente: www.resnapshot.com

Corrosión intergranular: es la que se encuentra localizada en los límites de grano, esto origina pérdidas en la resistencia que desintegran los bordes de los granos. Figura 2.11

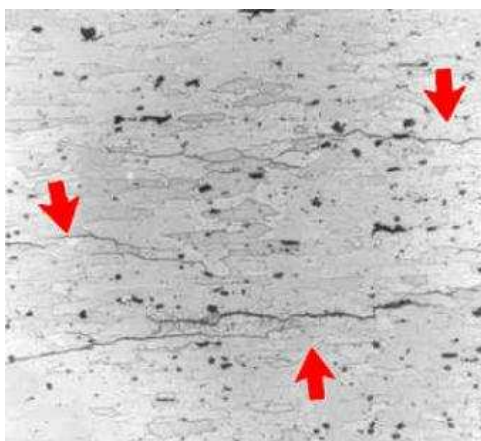


Figura 2.11 Corrosión intergranular

Fuente: www.clihouston.com

Corrosión por esfuerzo: se refiere a las tensiones internas luego de una deformación en frío.

2.2.8 DESGASTE POR FATIGA SUPERFICIAL

También llamada “sub caso de fatiga” en partes carburadas, la fisuración por fatiga se caracteriza por cavidades grandes. Se inician comúnmente en el límite corazón-cáscara de partes endurecidas, fisuras similares ocurren en cáscaras endurecidas de dientes de engranes. Figura 2.12



Figura 2.12 Desgaste por fatiga superficial

Fuente: www.docentes.unal.edu.co

El fisuramiento ocurre cuando la resistencia al corte en la región sub-superficial es muy baja con respecto al esfuerzo cortante. En muchas ocasiones, esto puede ser solucionado incrementando la profundidad de la cáscara, endurecida o endureciendo el corazón o ambos.

Reducción de los esfuerzos de contacto por fatiga

Las cargas concentradas deben ser evitadas tanto como sea posible (a través de la elasticidad inherente de los metales haciendo deflexiones). La geometría de las partes en contacto debe ser tal que las áreas de contacto de las deflexiones elásticas bajo carga pesada se incrementen antes que disminuyan. Por ejemplo, el diente de un engranaje y los rodillos de rozamiento son adelgazados o sobredimensionados (o los dos) para compensar la deflexión elástica. Mirando los factores metalúrgicos, se necesita considerar algunos puntos importantes. Elevando la dureza hasta un límite racional, se tiende a incrementar la resistencia al daño, pero dureza adicional puede ser peligrosa pues se reduce la habilidad al flujo plástico de la superficie o ligero desgaste al distribuir cargas aplicadas. Conforme la dureza aumenta, el acabado superficial debe también mejorar, para impedir el contacto localizado en los puntos salientes de la superficie. Debido a que ciertas inclusiones no metálicas en muchas partes disminuyen la resistencia al desgaste, el uso de aceros "limpios" para componentes críticos puede ser beneficioso como ya se mencionó.

Fatiga por esfuerzos térmicos

Un tipo de daño superficial que ocurre en tambores de frenos o superficies de volantes de fricción, es la fatiga por esfuerzos térmicos, desarrollada en la superficie de metales deslizantes bajo presión u otras partes sujetas a calentamientos repetidos y ciclos de enfriamiento. El calor generado, bajo repetición, causa fisuramiento superficial y aún fractura grosera. Cuando se calienta una superficie, las leyes de expansión, frecuencia y compresión superficial se cumplen, cuando se enfría la superficie se encoge y el metal se contrae debido a la fluencia compresiva, entonces la superficie es solicitada, en tensión por la masa de metal que no cambia bajo la misma. Las superficies en tensión pueden fisurarse debido a la acción cíclica de esfuerzos alternados de tensión y compresión.

2.3 DAÑOS SUPERFICIALES POR DESGASTE

El proceso de desgaste superficial puede definirse como una pérdida del material de la interfase de dos cuerpos, cuando se produce un movimiento relativo, bajo la acción de una fuerza.

2.3.1 LUDIMIENTO

El Ludimiento consiste en la acumulación de depósitos en la superficie de apoyo del cojinete, cubos de engranajes, poleas, rodamientos, cuñas, etc. Producto de desgaste y/o oxidación del mismo asociado a pequeños desplazamientos cíclicos de este respecto al asentamiento. Figura 2.13

Causas:

Estado vibratorio severo en las máquinas

Juego excesivo entre el cojinete y su alojamiento

Mal montaje

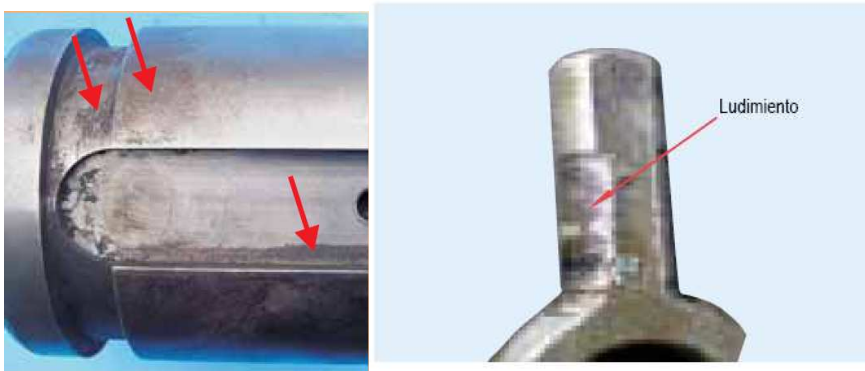


Figura 2.13 Un eje de transmisión y un Brazo de la Araña del Diferencial de Rueda con Ludimiento

Fuente: www.docentes.unal.edu.co

2.3.2 RAYADO

Daño causado por partículas incrustadas de metal. El rayado puede aparecer como ranuras anchas y profundas o como ranuras delgadas y superficiales.

Figura 2.14

Causas:

Lubricante incorrecto (viscosidad o tipo incorrectos): Reducirá la vida de cojinetes, engranes, bujes y rondanas de empuje.

Lubricante contaminado: El agua, material ajeno y el material producido por el desgaste normal o por algún golpe pueden ocasionar rayaduras o picaduras en las superficies en contacto. El material ajeno al lubricante es abrasivo.

Bajo nivel o ausencia de lubricante: Producirá fricción, la cual ocasiona sobrecalentamiento, fallas en la película protectora, y finalmente el atascamiento de las superficies de las partes en contacto.



Figura 2.14 Piñón Motriz – Bajo Lubricante y Rondanas de Empuje del Piñón Lateral – Rayado
Fuente: www.docentes.unal.edu.co

2.3.3 QUEMADURAS

Daño permanente al metal o aleación ocasionada por sobrecalentamiento. Spinout es la rotación excesiva de la rueda, lo cual ocasiona un calor dañino. Las altas temperaturas debilitan la película de lubricante, permitiendo el contacto metal con metal.

Un spinout de larga duración podría producir la falla completa del eje. El spinout en el diferencial principal ocurre cuando una de las ruedas se mantiene estática mientras la otra rueda está girando. FIGURA 2.15

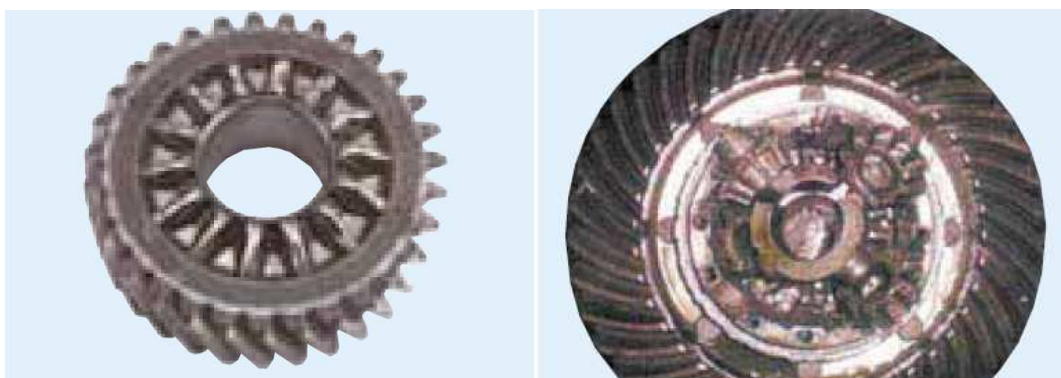


Figura 2.15 Engrane Lateral Helicoidal – Cojinete Y Diferencial de Rueda Quemado
Fuente: www.docentes.unal.edu.co

2.3.4 ABOLLADURA

Tipo de daño ocasionado por material ajeno o partículas duras pasando a través de los balines y anillos. Aparece como una indentación pequeña. Figura 2.16

La abolladura es un fenómeno de inestabilidad elástica que afecta a elementos estructurales bidimensionales cuando estos se someten a tensiones de compresión según su plano o superficie media.

Desgaste por contaminación: Las rayaduras y abolladuras ocurren cuando partículas duras de metal pasan a través del sistema de lubricación. El daño es una señal temprana de fallas en el cojinete. Las posibles causas incluyen mal mantenimiento de la lubricación y/o sobrecargado de los ejes.



Figura 2.16 Contaminación – Abolladuras

Fuente: www.docentes.unal.edu.co

2.3.5 OXIDACIÓN

La oxidación es una reacción química donde un compuesto cede electrones, y por lo tanto aumenta su estado de oxidación. Figura 2.17



Figura 2.17 Oxidación de un metal

Fuente: www.tverdugoprocessosmecanicos.blogspot.com

Se debe tener en cuenta que en realidad una oxidación o una reducción es un proceso por el cual cambia el estado de oxidación de un compuesto. Este cambio no significa necesariamente un intercambio de electrones. Suponer esto que es un error común implica que todos los compuestos formados mediante un proceso redox son iónicos, puesto que es en éstos compuestos donde sí se da un enlace iónico, producto de la transferencia de electrones.

El nombre de "oxidación" proviene de que en la mayoría de estas reacciones, la transferencia de electrones se da mediante la adquisición de átomos de oxígeno (cesión de electrones) o viceversa. Sin embargo, la oxidación y la reducción puede darse sin que haya intercambio de oxígeno de por medio.

2.3.6 SOCAVADURAS

Las socavaduras se definen como fallas por fatiga en la superficie del material, como resultado de esfuerzos superficiales y sub-superficiales repetidos que exceden el límite de resistencia del material. Se caracterizan por el desprendimiento de metal y por la formación de cavidades. Estas cavidades pueden ser pequeñas y permanecer del mismo tamaño, o bien ser pequeñas al principio y posteriormente combinarse o incrementarse si existe fatiga. Muchas de las socavaduras tienen una característica forma de abanico. Figura 2.18 Las socavaduras pueden ser de cualquiera de los dos tipos: incipientes o destructivas.

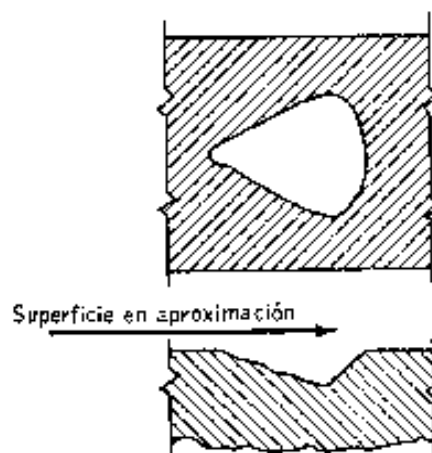


Figura 2.18 Típica configuración de una socavaduras, mostrando la superficie y la forma de abanico.

Fuente: www.aendur.ancap.com

La socavadura inicial o incipiente es el tipo de fatiga superficial que ocurre al iniciarse la operación, y continúa únicamente hasta haber eliminado las asperezas de la superficie (sobre las cuales actúan esfuerzos), obteniendo así suficiente área de contacto para soportar la carga sin deterioro adicional. En el caso de los engranes, ocurre con más frecuencia en una banda angosta, localizada en la línea de paso o inmediatamente por debajo de ella. Este tipo de socavadura no es grave, por ser auto correctiva y no progresiva.

La socavadura incipiente se inicia como una pequeña grieta superficial de forma irregular, con una profundidad menor de 0.005 pulgadas (0.0127 mm). No progresará más allá de la etapa inicial si en la superficie existen esfuerzos de compresión inducidos, tales como los debidos al maquinado.

La falla por socavadura destructiva puede originarse, ya sea por fatiga superficial o subsuperficial. El fenómeno ocurre cuando la acción correctiva asociada con la socavadura incipiente ocurrida en el inicio de la operación es insuficiente para detener la formación de la socavadura. La socavadura destructiva, por lo tanto, se caracteriza como “progresiva y no correctiva”, y puede ser sumamente grave, hasta conducir a la desintegración de la superficie.

2.3.7 PICADURA SUPERFICIAL

Esta condición de fatiga superficial ocurre cuando se exceden los límites de continuidad de un material en particular.

Las picaduras de origen superficial de superficies de acero endurecido también son destructivas y en el caso de dientes de engranes, también pueden causar la fractura del diente por fatiga en flexión. Figura 2.19 Cuando se adiciona el deslizamiento a la acción de rodadura, un juego completamente diferente de circunstancias tiene lugar.

Los dientes de engranes son las principales partes de acero sujetas a picaduras de origen superficial. Es significativo que la dependa (la región bajo la línea de paso) de todos los dientes de engranes tienen deslizamiento

negativo, Esto significa que es allí donde las picaduras de origen superficial son más probables de ocurrir.

Tipos:

Inicial: Esta es la etapa más suave del picado. Consiste en picaduras definidas que van desde el tamaño de un alfiler hasta .030" de diámetro. El picado inicial continúa hasta que el diente es capaz de soportar la carga sin presentar mayores problemas.

Moderado: En esta etapa las picaduras son aproximadamente del doble del tamaño del picado inicial. Los dientes del engrane no han sido debilitados y no hay riesgo de rupturas.

Destruyivo: En esta etapa las picaduras son considerablemente más grandes y profundas que en la etapa de picado moderado. Los engranes que clasifiquen para esta etapa deben ser reemplazados.

Causas:

Partículas de metal duro en el lubricante

Sobrecarga constante del vehículo

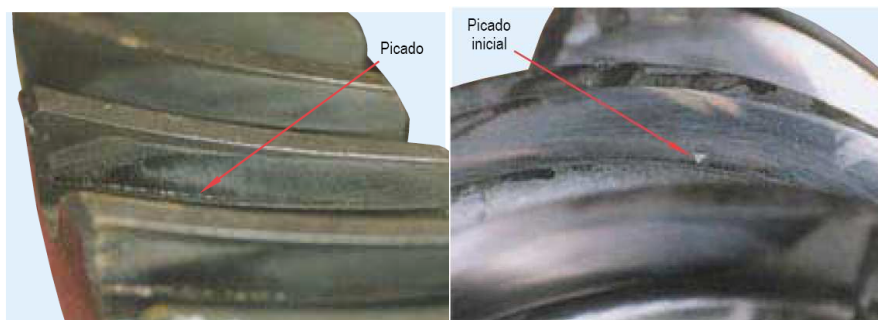


Figura 2.19 Corona Y Piñón Motriz – Picado

Fuente: www.docentes.unal.edu.co

2.3.8 ESCAMACIONES

Un tipo de picado avanzado resultante de la fatiga por contacto. El material se cae de la superficie en forma de escamas superficiales o en forma de partículas con la apariencia de pequeñas incrustaciones. Figura 2.20



Figura 2.20 Cono del Cojinete con Escamaciones

Fuente: www.docentes.unal.edu.co

2.3.9 ASTILLADO

Deterioro de una fatiga superficie a superficie con altos esfuerzos que produce cavidades profundas con forma irregular y bordes afilados. El astillado es una forma severa de des escamado.

Dstrucción progresiva de los dientes de engranes. Una sobrecarga coloca presión entre las superficies engranadas. La repetición de sobrecargas resulta en la falla de los dientes. Figura 2.21

Causas:

Sobrecarga continua

Lubricante contaminado

Impacto: Daño que ocurre al esforzar los dientes del engrane o la flecha más allá de la resistencia del material. La falla podría ser inmediata (por un golpe súbito) o progresiva (cuarteaduras de la superficie de los dientes o flecha que aparecen después del golpe inicial).

Lubricante incorrecto

Bajos niveles de lubricante

Intentar liberar frenos congelados

Ruedas girando al adherirse a una superficie firme



Figura 2.21 Piñón Motriz – Astillado

Fuente: www.docentes.unal.edu.co

2.4 MODOS DE FALLA

Llamamos modo de falla al fenómeno o mecanismo responsable del evento o condición de falla. En este sentido, los modos de falla que en general pueden afectar a un componente estructural son:

Inestabilidad elástica (pandeo local o generalizado)

Excesiva deformación elástica

Excesiva deformación plástica (fluencia generalizada)

Inestabilidad plástica (estricción, pandeo plástico)

Fatiga de alto ciclo y bajo ciclo

Creep y creep-fatiga

Fractura rápida (frágil, dúctil, mixta)

Corrosión, erosión, corrosión-fatiga, corrosión bajo tensiones, etc.

Los cuatro primeros modos de falla pueden ser atribuidos fundamentalmente a falencias en el diseño del elemento estructural (excepto en el caso en que la falla se produzca como consecuencia de una carga superior a las máximas previstas en el diseño). Los cuatro últimos términos, pueden ser causados por un diseño incorrecto, también obedecen muchas veces a factores introducidos durante las etapas de fabricación del elemento. En particular los problemas de

fatiga, corrosión y fractura rápida suelen estar estrechamente relacionados con las operaciones de soldadura que se hayan utilizado.

Debe tenerse en cuenta que:

Los componentes estructurales en general y los fabricados por soldadura en particular pueden experimentar fallas en servicio de distintos tipos.

A veces estas fallas en servicio adquieren características catastróficas.

La presencia de defectos en las uniones soldadas son muchas veces la razón de que se produzca una falla en servicio.

La naturaleza de la discontinuidad que corresponde al defecto, determina en general para condiciones de servicio dadas, el tipo de falla que puede favorecer.

A veces las fallas en servicio no obedecen a falencias de diseño sino a factores extrínsecos introducidos durante la fabricación del componente, particularmente a través de las operaciones de soldadura.

2.4.1 EXCESIVA DEFORMACIÓN E INESTABILIDAD ELÁSTICA.

El modo de falla por excesiva deformación elástica se produce cada vez que una pieza que debe mantener sus dimensiones dentro de ciertos límites, sufre una deformación elástica que hace que aquellas excedan el valor admisible, conduciendo a problemas de interferencia tales como atascamiento o a deflexiones excesivas. En el caso de uniones soldadas, la recuperación elástica que sigue a la liberación de una pieza inmovilizada durante la soldadura, puede conducir a cambios dimensionales o distorsiones inadmisibles.

La forma más común del modo de falla por inestabilidad elástica es la constituida por el fenómeno de pandeo Fig. 2.22.



Figura 2.22 Pandeo

Fuente: www.fi.uba.ar

Este se produce cuando un elemento estructural esbelto tal como una columna es sometido a una carga de compresión suficientemente alta según su eje longitudinal. Puede demostrarse que existe una carga que depende del momento de inercia de la sección resistente, del módulo elástico del material, y de la forma de sujeción del elemento, por encima de la cual las deflexiones laterales crecen sin límite conduciendo a la destrucción del componente. El fenómeno de pandeo puede adoptar una forma global, es decir afectar a todo el componente como en el caso de una columna, o ser local afectando sólo una parte de la estructura como ocurriría en el caso de una fabricación con paneles en compresión donde sólo alguno de tales paneles sufre pandeo. La presencia de una soldadura puede afectar de manera significativa la resistencia al pandeo de un elemento estructural debido a la introducción de tensiones residuales.

2.4.2 EXCESIVA DEFORMACIÓN PLÁSTICA

La excesiva deformación plástica constituye sin duda el modo de falla mejor comprendido en un componente estructural, y es la base del diseño clásico de componentes estructurales. En efecto, dicho diseño tiene como objetivo fundamental establecer las dimensiones de las secciones resistentes necesarias para asegurar un comportamiento elástico de las mismas. Esto

significa en teoría que en ningún punto de una sección resistente se alcance una condición de fluencia, es decir de deformación plástica. Sin embargo, en las estructuras reales, y muy particularmente en las estructuras soldadas, la presencia de concentradores de tensión más o menos severos es inevitable y por lo tanto también lo es la existencia de zonas plastificadas en el vértice de tales concentradores. De todos modos, en la medida que el tamaño de tales zonas plásticas sea pequeño en relación con las dimensiones características de la sección resistente, puede considerarse que la sección se comportará de manera elástica. En cambio, si por un incremento en las cargas las zonas plásticas se propagan hasta alcanzar una fracción significativa de la sección, nos encontramos ante una falla por excesiva deformación plástica.

2.4.3 INESTABILIDAD PLÁSTICA

Un material que ha alcanzado la condición plástica puede inestabilizarse y conducir rápidamente a un colapso plástico. Un ejemplo conocido de este fenómeno es la estricción que precede a la rotura en el ensayo de tracción de un material dúctil. Fig. 2.23.



Figura 2.23 Inestabilidad plástica

Fuente: www.fi.uba.ar

La inestabilidad plástica puede ser responsable en otros casos de la propagación rápida de una fisura, dando así origen a un fenómeno de fractura dúctil rápida. Muchas fallas catastróficas fueron atribuidas a fracturas frágiles y tuvieron su origen como inestabilidades dúctiles.

2.4.4 FATIGA

El fenómeno de fatiga es considerado responsable de mayoría de fallas por rotura de uniones soldadas y precede muchas veces a la fractura rápida. Una discontinuidad que actúa como concentrador de tensiones puede iniciar bajo cargas cíclicas una fisura por fatiga que puede propagarse lentamente hasta alcanzar un tamaño crítico a partir del cual crece de manera rápida pudiendo conducir al colapso casi instantáneo de la estructura afectada. La condición superficial y la naturaleza del medio cumplen un rol importante sobre la resistencia a la fatiga, esto es sobre el número de ciclos necesarios para que aparezca la fisura.

La influencia que las discontinuidades geométricas tienen sobre la resistencia a la fatiga de las uniones soldadas bajo régimen de cargas variables es un hecho ampliamente reconocido aquí se muestra la superficie de fractura de un eje en el que se inició una fisura por fatiga a partir del concentrador de tensiones representado por el alojamiento de la chaveta. Figura 2.24

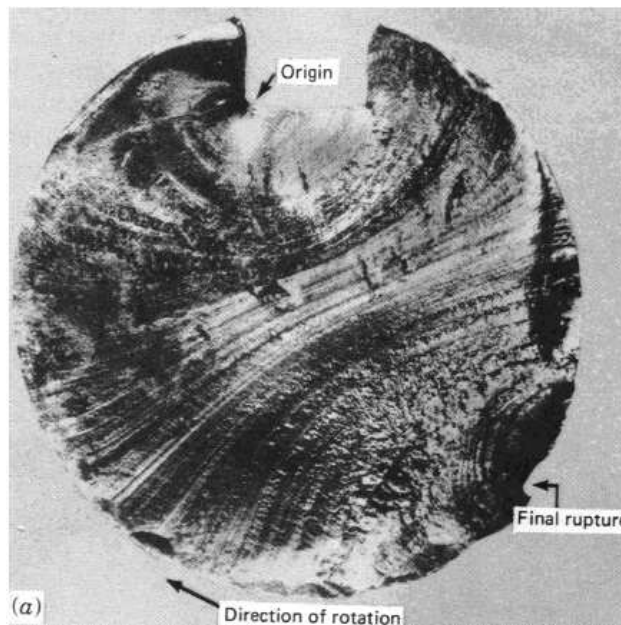


Figura 2.24 Fisura por fatiga

Fuente: www.fi.uba.ar

Una vez iniciada la fisura, la misma continuó creciendo progresivamente por fatiga bajo los sucesivos ciclos de carga hasta que la sección resultó incapaz de soportar la carga lo que condujo a la rotura final del eje. Las sucesivas posiciones de la fisura durante su crecimiento lento pueden observarse en las

marcas denominadas “líneas de playa” que son una característica macroscópica frecuente de las superficies de fractura por fatiga.

El talón de una soldadura, sea ésta a tope o a filete, es el asiento de las discontinuidades que en general son los factores limitantes de la vida a la fatiga de uniones soldadas solicitadas transversalmente al cordón de soldadura.

2.4.5 CREEP Y CREEP-FATIGA.

Las deformaciones elásticas y plásticas que sufre un material se suelen idealizar asumiendo que las mismas se producen de manera instantánea al aplicarse la fuerza que las origina. La deformación que puede desarrollarse posteriormente en algunas situaciones y que progresa en general con el tiempo, se conoce con el nombre de creep.

Para los materiales metálicos y los cerámicos, la deformación por creep se torna significativa por encima del rango de temperaturas $0.3/0.6 T_f$, donde T_f es la temperatura absoluta de fusión del material. Por el contrario, para los vidrios y polímeros la temperatura a la cual los fenómenos de creep se tornan importantes se encuentra alrededor de la temperatura T_g de transición vítrea del material. De manera que mientras los metales en general no sufrirán efectos de creep a temperatura ambiente, muchos vidrios y polímeros lo harán.

En general, las aleaciones metálicas empleadas contienen elementos tales como Cr, Ni, y Co en distintas proporciones según las características específicas buscadas. El fenómeno de creep puede conducir a excesivas deformaciones plásticas o culminar en la rotura de un elemento estructural.

Cuando el fenómeno de creep se combina con el de fatiga, se tiene una situación conocida como creep-fatiga.

2.4.6 FRACTURA RÁPIDA

Se puede definir la fractura como la culminación del proceso de deformación plástica. En general se manifiesta como la separación o fragmentación de un cuerpo sólido en dos o más partes bajo la acción de un estado de cargas.

Algunos metales sometidos a un ensayo de tracción presentarán una estricción en la zona central de la probeta para romper finalmente con valores de reducción de área que pueden llegar en algunos casos al 100%. Este tipo de fractura se denomina dúctil y es característica de materiales del sistema cúbico de caras centradas (fcc) en estado de alta pureza. Por el contrario, muchos sólidos, particularmente metales cúbicos de cuerpo centrado (bcc) y cristales iónicos, presentan fracturas precedidas por cantidades muy pequeñas de deformación plástica, con una fisura propagándose rápidamente a lo largo de planos cristalográficos bien definidos, llamados planos de clivaje, que poseen baja energía superficial. Este tipo de fractura se denomina frágil.

La fractura rápida constituye el modo de falla más catastrófico y letal de todos los mencionados. La misma se produce en general bajo cargas normales de servicio, muchas veces inferiores a las de diseño. Por tal motivo, la fractura rápida no es precedida por deformaciones macroscópicas que permitan tomar medidas para evitarla o para reducir la gravedad de sus consecuencias. Una vez iniciada, pocas veces se detiene antes de producir la rotura completa de componente.

Las características que adopta en general la falla por fractura rápida, son las siguientes:

- a) La falla se produce de manera totalmente sorpresiva y progresa a muy alta velocidad, típicamente entre algunos centenares y algunos miles de metros por segundo. Como se ha mencionado.
- b) La falla suele ocurrir cuando el componente está sometido a tensiones compatibles con las de diseño, y muchas veces inferiores a la máxima prevista.
- c) El origen de la falla se debe muchas veces a factores ajenos al diseño que son introducidos durante fabricación, muy particularmente a través de las operaciones de soldadura, no siendo detectados como factores potenciales de riesgo por los responsables de la construcción e inspección del componente.

2.4.7. CORROSIÓN, EROSIÓN, CORROSIÓN-FATIGA, CORROSIÓN BAJO TENSIONES, ETC.

Es la fisuración producida por corrosión bajo tensión de tracción. Cuando hay fisuras por corrosión bajo tensión (SCC) el resto de la superficie no aparece afectada y aparecen fisuras finas que van creciendo. Las tensiones necesarias para falla por SCC son del orden de las de diseño. La apariencia de las fisuras es como si fuera fractura frágil, puede ser entre granos o ir por dentro de granos.

Las deformaciones no aumentan significativamente durante el proceso de fisuración, pero llega un tiempo de exposición al agente corrosivo en el que suben (similar a una fisuración) y se rompe el material.

Los mecanismos de SCC no se conocen muy bien, debido a la complejidad del acoplamiento del metal, la interface y el ambiente. La información más confiable es la empírica. La corrosión juega un papel muy importante en el inicio de una fisura.

Corrosión con fatiga

La fatiga con corrosión es la reducción de la resistencia a fatiga debido a la presencia de un medio corrosivo. La presencia de óxido en la superficie no garantiza que la falla sea debida a la fatiga con corrosión, puede ser fatiga simple.

La resistencia a fatiga se reduce por el agente corrosivo porque los pequeños agujeros de corrosión producen concentración de tensiones. La falla transgranular (por dentro de granos) y no se muestran las ramificaciones que son características de fisuras que progresan entre bordes de granos del material.

Las etapas finales de fatiga con corrosión son iguales a las de fatiga porque ese proceso es mecánico y no incide el agente corrosivo.

CAPITULO III

MATERIALES QUE PUEDEN SER REPARADOS MEDIANTE SOLDADURA DE MANTENIMIENTO

3.1 TIPOS DE MATERIALES

3.1.1 ACEROS DE BAJO Y MEDIO CONTENIDO DE CARBONO, (DE 0.10 A 0.25 %. Y DE 0.25 A 0.55 %)

Pueden ser revestidos sin mayor dificultad, usando todos los procesos de soldadura. Se utilizan en vehículos, tuberías, elementos estructurales, se emplean también en piezas de ingeniería que requieren una alta resistencia mecánica y al desgaste.

Pre-Pos calentamiento, no es generalmente requerido a no ser que se trabaje en piezas muy grandes, deben ser evitadas fisuras en la superficie.

3.1.2. ACEROS DE ALTO CARBONO, 0.55 % Y MAS.

Pueden ser revestidos con todos los procesos de soldadura, es aconsejable realizar un Pre y Pos calentamiento.

Las piezas endurecidas con tratamiento térmico, deben ser revenidas (eliminada su dureza) antes de soldar.

Estos aceros se emplean principalmente en herramientas.

3.1.3. ACEROS DE BAJA ALEACIÓN.

Pueden ser revestidos usando los mismos procesos y cuidados que con los aceros de alto carbono, y por tener alta resistencia son una buena base para el revestimiento. Ejemplo, los vagones de tren, en la actualidad se construyen muchos edificios con estructuras de aceros de baja aleación

3.1.4. ACEROS AL MANGANESO: DE 11 A 14% Mn.

Se recomienda, el proceso de arco abierto, (sin gas, ni flux). Para asegurar un más adecuado control de la temperatura, la que debe ser lo más baja posible, haciendo cordones cortos, angostos, y alternados. La refrigeración de la pieza base, es también aconsejada, además el martilleo cuando el acero está

caliente también ayuda, a aliviar tensiones. Empleándose principalmente, para cruzamientos de vías, mordazas de maquinas trituradoras, excavadoras, etc.

3.1.5 ACEROS INOXIDABLES SERIE 300.

En general no presentan ninguna dificultad, aunque su tendencia a la deformación, obliga a evitar todo exceso de calor posible. Ejemplo utensilios y equipo para uso doméstico, hospitalario y en la industria alimentaria, tanques, tuberías, etc. Ejemplo AISI 301,304, 308, 312, 316, 316L, etc.

3.1.6. NÍQUEL Y SUS ALEACIONES.

Los procesos que usan gases inertes, como el argón, se debe evitar en extremo la concentración de calor, para evitar porosidades del material base. Ejemplo en motores marinos e industria química, baterías recargables, acuñación de moneda, etc.

3.1.7. HIERRO FUNDIDO.

Por su extrema tendencia a las fisuras, los revestimientos sobre este material no son recomendados, pero, para piezas sometidas a servicios de alta abrasión, si se han logrado revestimientos duros muy eficientes.

En general se requiere pre-calentamiento, a temperaturas entre los 1.200 y 1.400° F. y un enfriamiento lento, también es requerido luego de revestir un ligero martilleo que ayuda a liberar tensiones. Ejemplo guías de laminadoras, molinos de bolas y boquillas de extrusión.

3.2 APLICACIONES INDUSTRIALES

La soldadura de mantenimiento se aplica en diferentes industrias para, prolongar la vida útil del equipamiento, reducir el número de piezas de repuesto que la industria debe almacenar, proporcionándoles la alternativa de arreglar la pieza averiada y el que la máquina vuelva a funcionar, evitar en lo posible la importación de piezas y maquinaria nuevas, etc. Así tenemos varias industrias:

3.2.1 SIDERURGICA

Tratamiento del hierro para obtener diferentes tipos de éste o de sus aleaciones. El proceso de transformación del mineral de hierro comienza desde su extracción en las minas.

En la siderurgica se pueden reparar las siguientes maquinarias y herramientas:

- Rodillos transportadores
- Rodillos formadores
- Rodillos de la colada continúa
- Ollas de escoria
- Prensas de trituración de chatarra
- Carros porta barrotes
- Campanas de alto horno.
- Trébol de ejes de transmisión
- Tubería blindada interiormente.
- Ruedas de trenes de carga
- Placas antidesgaste bimetálicas
- Componentes de perforación.
- Tren de rodaje de maquinaria pesada
- Baldes de palas cargadoras
- Tornillos transportadores de plantas de lavado de mineral.
- Cobre para las abrazaderas de los portaelectrodos del horno.

Algunos procedimientos para reparar materiales que sufren daños con mayor frecuencia:

División Hornos:

Ollas y volquetas de escoria.

Se usan procedimiento específico, con alambres tubulares, para reconstrucción base y grietas, para resistir abrasión

División laminación:

Rodillos laterales, "Edging Rolls",

Se usan arco sumergido

División manejo de mineral:

Equipos transportadores, chutes, cargas, descargas, y transferencias

Se usa material ANTI-ABRASIVO

División Colada Continua:

Rodillos “CASTER ROLLS”, es la aplicación de soldadura más importante en esta industria.

3.2.2 MINERÍA

La minería es la obtención selectiva de los minerales y otros materiales de la corteza terrestre. Dependiendo del tipo de material a extraer la minería se divide en metálica y no metálica.

En la reparación de piezas y maquinaria en la industria minera se tienen las siguientes aplicaciones:

Revestimiento de reconstrucción en los mantos de molinos de chancado

Revestimiento de reconstrucción de los postes de molinos de chancado

Fabricación de placas bimetálicas antidesgaste, base de acero al carbono o de acero inoxidable.

Recambio/Fijación de placas antidesgaste

Reparación de placas blindadas antidesgaste

Reconstrucción de componentes del tren de rodaje de maquinaria pesada.

Figura 3.1



Figura 3.1 Componente del tren de rodaje

Fuente: Lincoln Manual Hardfacing

Reconstrucción en ollas y convertidores. Figura 3.2



Figura 3.2 Reconstrucción de ollas y convertidores

Fuente: Lincoln Manual Hardfacing

Blindaje interior de los tubos inyectores del horno

Revestimientos protectores de componentes de equipos cargadores.

Fijación de placas y fabricación de tolvas de camiones mineros.

Algunos procedimientos para reparar materiales que sufren daños con mayor frecuencia:

División Mina:

Equipos transportadores y de descarga,

Equipos alimentadores, a y desde los silos,

Equipos de almacenaje, carga y descarga,

Se usan revestimientos ANTI-ABRASIVOS

División Molinos:

Chancadores o Molinos de cono verticales primarios,

Martillos moledores, secundarios y terciarios,

Rejas de separación, placas de impacto en los chutes.

Se usan revestimientos para IMPACTO

También usan bases de reconstrucción

División Maquinaria pesada:

Ruedas, rodillos y cadenas, tren de rodamiento.

Baldes, cucharones, y componentes de estructura.

Se usan revestimientos ANTI-ABRASIVOS

División Fundición, Hornos:

Ollas y volquetas de escoria

Esta es una aplicación de gran volumen y se requiere procedimientos específicos.

Se usan como base, para relleno de grietas

Se usan revestimientos para terminación antiabrasiva

División Refinería:

Componentes de bombas.

Componentes de válvulas,

Según el tamaño de las piezas, usan electrodo varilla, o alambre tubular. Para reconstruir, para anti-abrasión

División transportes:

Trenes de rodamiento, ruedas, carros.

3.2.3 CEMENTERAS

El cemento es el componente primordial del concreto, que a su vez es el segundo material más consumido en el planeta.

La industria del cemento es una de las industrias de uso más intensivo de capital, el costo de una planta cementera nueva equivale a casi 3 tres años de ingresos. Las plantas de cemento modernas tienen capacidad de producción de más de 1 millón de toneladas por año. Una vez construidas, las instalaciones pueden durar 50 años.

En Cementeras se tienen las siguientes aplicaciones:

Revestimiento de reconstrucción en los mantos de molinos de chancado

Revestimiento de reconstrucción de los postes de molinos de chancado

Fabricación de placas Bimetálicas antidesgaste, base de acero al carbono o de acero Inoxidable.

Recambio/Fijación de placas antidesgaste
Reparación de Placas Blindadas antidesgaste
Reconstrucción de componentes del tren de rodaje de maquinaria pesada.
Revestimientos protectores de componentes de equipos cargadores.
Bandejas y Parrillas separadoras de acero al manganeso.
Rotores del tiro inducido de las calderas.

Algunos procedimientos para reparar materiales que sufren daños con mayor frecuencia:

División Mina:

La mayoría de las aplicaciones de la minería se repiten en esta división.

División Molinos:

Todas las aplicaciones de la minería se repiten en esta división,
Se usan electrodos con alto contenido de cromo y manganeso

División Hornos:

Cadenas y componentes de estructura
(Material resistente a la abrasión, con alta temperatura)
Reconstrucción de componentes de equipo cementero:
Mesas y rodillos de molinos verticales
Mesas y rodillos de molinos de carbón
Rodillos del roller

3.2.4 INGENIOS AZUCAREROS

Utiliza como materia prima la caña de azúcar. Además del azúcar se obtienen otros derivados: alcohol de caña, ron, etc. De su corteza se hace papel y cartones en fábricas especiales.

En la reparación de piezas y maquinaria en la industria azucarera se tienen las siguientes aplicaciones:

Blindaje globular en mazas del molino, antes o durante la molienda.

Blindaje full automático de los dientes de las masas de molino.

Revestimiento de cuchillas centrales, viradores o bagaceras.

Blindaje de cuchillas picadoras y martillos desfibradores.

Reconstrucción de guijos, en ejes de masas de molino. Figura 3.3



Figura 3.3 Reconstrucción de molinos

Fuente: Lincoln Manual Hardfacing

Revestimientos protectores en rotores del ventilador del tiro inducido de calderas.

Materiales que sufren daños con mayor frecuencia:

División preparación de caña:

Cuchillas picadoras, un trabajo de volumen constante.

Martillos desfibradores, otro volumen constante.

División Molinos:

Mazas del molino usan, reconstrucción de dientes rotos

Recuperación de ejes.

Piñones y coronas

3.2.5 PETROLERAS:

La industria petrolera incluye procesos globales de exploración, extracción, refinamiento, transporte frecuentemente a través de buques petroleros y oleoductos y mercadotecnia de productos del petróleo. Los productos de mayor

volumen en la industria son combustibles fueloil y gasolina. El petróleo es la materia prima de muchos productos químicos incluyendo productos farmacéuticos, disolventes, fertilizantes, pesticidas y plásticos.

En la reparación de piezas y maquinaria en la industria petrolera se tienen las siguientes aplicaciones:

Reconstrucción de elementos de perforación, estabilizadores, herramienta común, etc.

Bombas: tapas, rotores, vástagos, asientos, sellos.

Tuberías de aceros especiales.

Algunos procedimientos para reparar materiales que sufren daños con mayor frecuencia:

División perforación:

Usan proceso de Arco Sumergido para revestir el exterior de los sectores de unión entre los tramos y la broca.

(Se requiere procedimiento de precalentamiento a 600° F)

División refinería:

Se usan materiales especiales Inoxidables, refractarios, resistentes al creep, estructurales, etc.

Se usan también revestimientos especiales para reparar válvulas y bombas, etc.

3.2.6 FÁBRICAS DE CERÁMICA:

Las cerámicas son fabricadas en industrias de silicatos (grupo de minerales de mayor abundancia, pues constituyen más del 95% de la corteza terrestre), además también a artículos y recubrimientos aglutinados por medio del calor, con suficiente temperatura como para dar lugar al sinterizado.

En la reparación de piezas y maquinaria en la industria cerámica se tienen las siguientes aplicaciones:

Brazos mezcladores.
Tornillos de las prensas.
Moldes cortadores.
Componentes de equipo pesado y cargadores.

Algunos procedimientos para reparar materiales que sufren daños con mayor frecuencia:

División mezcladores, brazos, palas, tornillos de transporte,
Se usan materiales resistentes a la abrasión, y reconstrucción, dependiendo del tamaño de la pieza, usan electrodos de varilla, o alambre tubular con arco abierto.

3.2.7 INDUSTRIA PAPELERA Y CELULOSA

La industria papelera es una actividad compleja que comprende muchos procesos para la obtención del producto final. En su producción se utiliza una gran variedad de materias primas y de procesos que intervienen en la fabricación de pasta y papel pueden agruparse en una serie de operaciones.

En la reparación de piezas y maquinaria en la industria papelera se tienen las siguientes aplicaciones:

Revestimiento interior de digestores.
Cuchillas "Chipeadoras"
Tubería inoxidable.
El Digestor de pulpa, de las paredes interiores
El rotor del hidratador de pulpa, para recuperar espesor

3.2.8 CARTONERAS

Una de las aplicaciones de reparación en la industria cartonera es:
Reconstrucción de superficie, en los rodillos "Corrugadores".

3.2.9 ACEITERAS

En la reparación de piezas y maquinaria en la industria aceitera se tienen las siguientes aplicaciones:

Componentes de molino.

Tornillo y camisa de las prensas.

Tubería de inoxidable.

Tornillos de las prensas, se revisten en su cara frontal y el borde externo.

3.2.10 AUTOMOTRIZ

La industria automotriz se encarga del diseño, desarrollo, fabricación, ensamblaje, comercialización y venta de automóviles. Es una gran generadora de empleo ya que además de la mano de obra directa que requiere, influye en toda una industria paralela de autopartes, por lo que la mano de obra indirecta es sumamente grande también.

En la reparación de piezas y maquinaria en la industria automotriz se tienen las siguientes aplicaciones:

Reconstrucción de ballestas

Reconstrucción de bielas

Reparación de tubos de escape

En la reparación de tubos de escape

3.2.11 FÁBRICAS DE ALUMINIO:

Ya sea considerando la cantidad o el valor del metal empleado, el uso industrial del aluminio excede al del cualquier otro metal exceptuando el hierro / acero. Es un material importante en multitud de actividades económicas y ha sido considerado un recurso estratégico en situaciones de conflicto.

En la reparación de piezas y maquinaria en la industria del aluminio se tienen las siguientes aplicaciones:

Reparación de ánodos.

Camisa de rodillos laminadores de "Foil".

3.2.12 MINAS DE SAL

En la reparación de piezas y maquinaria en las fabricas de sal se tienen las siguientes aplicaciones:

- Reconstrucción de flechas, aspas y rueda guía del cargador.
- Talón de las cuchillas de las motoniveladoras.
- Placas del Washer-Screw.
- Componentes de tren de rodaje.
- Bote de draga.

3.2.13 SERVICENTROS DE SERVICIO DE MAQUINARIA PESADA.

En la reparación de piezas y maquinaria en la industria de reparación de maquinaria pesada se tienen las siguientes aplicaciones:

Reconstrucción de componentes del tren de rodaje. Figura 3.4



Figura 3.4 Reconstrucción tren de rodaje

Fuente: Lincoln Manual Hardfacing

- Relleno de los alojamientos de los bujes, fuera de posición.
- Recambio de placas de blindaje, en baldes cargadores.
- Reconstrucción de zapatas, unas, y venas.

3.2.14 ASTILLEROS Y REPARACIONES NAVALES

Algunos procedimientos para reparar materiales que sufren daños con mayor frecuencia:

Reconstrucción de ejes/flechas. Figura 3.5



Figura 3.5 Reconstrucción de ejes/flechas.

Fuente: Lincoln Manual Hardfacing

Soldadura semiautomática de aluminio

Soldadura semiautomática acero inoxidable.

3.2.15 GENERACIÓN DE ENERGÍA:

Una de las aplicaciones de reparación en una planta eléctrica es:

Reconstrucción de rotores de turbinas para hidroeléctricas, tipo Pelton, Francis, etc. Figura 3.6



Figura 3.6 rotor de turbina tipo Pelton

Fuente: Lincoln Manual Hardfacing

CAPITULO IV

NORMA AWS A5.21.

4.1 ESPECIFICACIONES PARA ELECTRODOS Y VARILLAS UTILIZADAS EN RECUBRIMIENTOS DUROS

4.1.1 UTILIDAD.

Para demostrar la utilidad de los electrodos, con el fin de ser clasificados en esta especificación, los electrodos deberán ser capaces de producir los siguientes resultados en las pruebas requeridas:

- a) Para varillas de soldadura, el metal fluirá libremente y sin problemas sobre la superficie de la placa sin escurrir.
- b) Los electrodos deberán funcionar sin problemas y sin salpicaduras excesivas cuando se use dentro de los rangos de corriente recomendado por el fabricante.
- c) La escoria se elimina fácilmente con herramientas de mano.
- d) La superficie de la plataforma de prueba después de ser esmerilado, estarán libres de defectos visibles al ojo desnudo.

4.1.2 FABRICACIÓN

Los electrodos y varillas pueden ser utilizados por cualquier método para piezas o productos que cumpla los requisitos de esta especificación.

4.2 ELECTRODOS REVESTIDOS

El revestimiento de los electrodos en todos los tamaños serán concéntricos en la medida de los parámetros requeridos, el mínimo del núcleo no podrá exceder las dimensiones que abarca más de un 7% de la base mínima de electrodos centrales para forjado, o en más del 10% de los electrodos de alambre fundido básico. La concetricidad se puede medir por cualquier medio adecuado.

El revestimiento deberá ser tal que no sea fácilmente dañado por el manejo normal.

El revestimiento deberá ser tal que el calentamiento del electrodo durante la soldadura no deberá causar ampollas o descamación de la cobertura dentro de los rangos de la corriente recomendada por el fabricante.

El núcleo de alambre deberá estar libre de defectos que puedan interferir con el rendimiento uniforme de los electrodos.

4.2.1 EL ALCANCE

Esta especificación determina los requisitos para la clasificación de electrodos recubiertos para la soldadura de arco de metal protegido. Los electrodos desnudos y varillas previamente clasificadas en ANSI/AWS A5.13-80. Se discontinuaron y ahora se reclasificaron en AWS A5.21:2001, Especificación para los Electrodos Desnudos y Varillas de Recubrimiento.

4.2.2 CLASIFICACIÓN DE ELECTRODOS DISCONTINUADOS

Algunos electrodos están discontinuados. Esto es el resultado de los cambios en práctica comercial o cambios en el sistema de la clasificación usado en la especificación. Se listan la clasificación de electrodos que están discontinuadas en la Tabla 4.1 junto con año en que ellos fueron creados.

Discontinued Electrode and Rod Classifications^a

AWS Classification	Last A5.13 (ASTM A 399) Publication Date	AWS Classification	Last A5.13 (ASTM A 399) Publication Date
RFeCr-A2	1956	ERCuAl-A3 ^c	1980
EFeCr-A2	1956	RCuAl-C ^b	1980
ECuZn-E	1956	RCuAl-D ^b	1980
RCuAl-B	1970	RCuAl-E ^b	1980
RCuSn-E	1970	ERCuSn-A	1980
ECuSn-E	1970	RCuSn-D ^b	1980
RFe5-A	1980	RNiCr-A ^b	1980
RFe5-B	1980	RNiCr-B ^b	1980
RFeCr-A1	1980	RNiCr-C ^b	1980
RCoCr-A [†]	1980	EFe5-A	1980
RCoCr-B ^b	1980	EFe5-B	1980
RCoCr-C ^b	1980	EFe5-C	1980
RCuZn-E	1980	EFeCr-A1	1980
ERCuSi-A ^c	1980	ENiCr-A	1980
ERCuAl-A2 ^c	1980	ENiCr-B	1980

Notes:

- See A8, Discontinued Classifications (in Annex A), for information on discontinued classifications.
- These AWS classifications have been transferred to AWS A5.21:2001 with the revised prefix of "ER" for electrode/rod made from solid stock or prefix of "ERC" for electrode/rod made from metal or flux cored composite stock.
- These AWS classifications have been transferred to AWS A5.21:2001 without a change in the classification designation for solid bare electrodes and rods or with the prefix "ERC" for electrode/rod made from metal or flux cored stock.

Tabla 4.1 Lista de electrodos discontinuados

Fuente: Norma AWS A5.21

4.2.3 REFERENCIAS NORMATIVAS

AWS A5.01, Guía para la obtención del relleno del metal

ANSI Z49.1, Seguridad en la Soldando, Corte, y los Procesos Aliados

ASTM UN 36/A 36M, la Especificación para el Acero Estructural.

ASTM UN 285/A 285M, La Especificación para la Presión de electrodos, Acero de Bajo e intermedio Carbono, Fuerza Tensora.

ASTM B 214, Método de la Prueba para el Análisis del Cedazo para los polvos de Metal Granulares.

ASTM E 29. Practica para usar los Significados Digitales en los Datos, Prueba para Determinar la Conformidad con las especificaciones.

EL ASTM DS-56/SAE HS-1086. Metales y Aleaciones en el Sistema de la Enumeración Unificado

4.2.4 CLASIFICACIÓN.

Los electrodos sin revestimiento son clasificados en base a su composición química y su proceso de manufactura. Los electrodos con revestimiento son clasificados en base a la composición química del metal que va a ser soldado, como se especifica en las tablas 4.2, 4.3, y 4.4. Cualquier electrodo clasificado bajo una categoría, no será clasificado bajo ninguna otra clasificación de esta especificación.

Salvo los electrodos de carburo de tungsteno, la superficie de los electrodos revestidos por esta especificación es clasificada según la composición química del metal puro de la soldadura.

Los electrodos de Carburo del tungsteno que aparece son clasificados en base al tamaño y la composición química de los gránulos de carburo de tungsteno tablas 4.5 y 4.6

Iron Base Surfacing Electrodes—Chemical Composition Requirements^a

Deposit Composition, weight percent ^{b, c, d}														
AWS Classification	Annex A Reference	UNS Number ^e	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	W	Ti	Nb(Cb)	Fe	Other Elements, Total
EFe1	A7.1.1	W74001	0.04-0.20	0.5-2.0	1.0	0.5-3.5	—	1.5	—	—	—	—	Rem	1.0
EFe2	A7.1.1	W74002	0.10-0.30	0.5-2.0	1.0	1.8-3.8	1.0	1.0	0.35	—	—	—	Rem	1.0
EFe3	A7.1.2	W74003	0.50-0.80	0.5-1.5	1.0	4.0-8.0	—	1.0	—	—	—	—	Rem	1.0
EFe4	A7.1.3	W74004	1.0-2.0	0.5-2.0	1.0	3.0-5.0	—	—	—	—	—	—	Rem	1.0
EFe5	A7.1.4	W75110	0.30-0.80	1.5-2.5	0.90	1.5-3.0	—	—	—	—	—	—	Rem	1.0
EFe6	A7.1.5	W77510	0.6-1.0	0.4-1.0	1.0	3.0-5.0	—	7.0-9.5	0.5-1.5	0.5-1.5	—	—	Rem	1.0
EFe7	A7.1.6	W77610	1.5-3.0	0.5-2.0	1.5	4.0-8.0	—	1.0	—	—	—	—	Rem	1.0
EFeMn-A	A7.1.7	W79110	0.5-1.0	12-16	1.3	—	2.5-5.0	—	—	—	—	—	Rem	1.0
EFeMn-B	A7.1.7	W79310	0.5-1.0	12-16	1.3	—	—	0.5-1.5	—	—	—	—	Rem	1.0
EFeMn-C	A7.1.7	W79210	0.5-1.0	12-16	1.3	—	2.5-5.0	—	—	—	—	—	Rem	1.0
EFeMn-D	A7.1.7	W79410	0.5-1.0	15-20	1.3	—	4.5-7.5	—	0.4-1.2	—	—	—	Rem	1.0
EFeMn-E	A7.1.7	W79510	0.5-1.0	15-20	1.3	—	3.0-6.0	—	—	—	—	—	Rem	1.0
EFeMn-F	A7.1.7	W79610	0.8-1.2	17-21	1.3	—	3.0-6.0	—	—	—	—	—	Rem	1.0
EFeMnCr	A7.1.8	W79710	0.25-0.75	12-18	1.3	—	13-17	2.0	1.0	—	—	—	Rem	1.0
EFeCr-A1A	A7.1.9	W74011	3.5-4.5	4.0-6.0	0.5-2.0	20-25	—	0.5	—	—	—	—	Rem	1.0
EFeCr-A2	A7.1.10	W74012	2.5-3.5	0.5-1.5	0.5-1.5	7.5-9.0	—	—	—	—	1.2-1.8	—	Rem	1.0
EFeCr-A3	A7.1.11	W74013	2.5-4.5	0.5-2.0	1.0-2.5	14-20	—	—	—	—	—	—	Rem	1.0
EFeCr-A4	A7.1.9	W74014	3.5-4.5	1.5-3.5	1.5	23-29	—	1.5	—	—	—	—	Rem	1.0
EFeCr-A5	A7.1.12	W74015	1.5-2.5	0.5-1.5	2.0	24-32	4.0	—	—	—	—	—	Rem	1.0
EFeCr-A6	A7.1.13	W74016	2.5-3.5	0.5-1.5	1.0-2.5	24-30	—	0.5-2.0	—	—	—	—	Rem	1.0
EFeCr-A7	A7.1.13	W74017	3.5-5.0	0.5-1.5	0.5-2.5	23-30	—	2.0-4.5	—	—	—	—	Rem	1.0
EFeCr-A8	A7.1.14	W74018	2.5-4.5	0.5-1.5	1.5	30-40	—	2.0	—	—	—	—	Rem	1.0
EFeCr-E1	A7.1.15	W74211	5.0-6.5	2.0-3.0	0.8-1.5	12-16	—	—	—	—	4.0-7.0	—	Rem	1.0
EFeCr-E2	A7.1.15	W74212	4.0-6.0	0.5-1.5	1.5	14-20	—	5.0-7.0	1.5	—	—	—	Rem	1.0
EFeCr-E3	A7.1.15	W74213	5.0-7.0	0.5-2.0	0.5-2.0	18-28	—	5.0-7.0	—	3.0-5.0	—	—	Rem	1.0
EFeCr-E4	A7.1.15	W74214	4.0-6.0	0.5-1.5	1.0	20-30	—	5.0-7.0	0.5-1.5	2.0	—	4.0-7.0	Rem	1.0

Notes:

- Solid bare electrodes and rods previously classified in AWS A5.13-80 are now either discontinued or reclassified in AWS A5.21:2001, *Specification for Bare Electrodes and Rods for Surfacing* (see Annex A).
- Single values are maximum. Rem = Remainder.
- Electrodes and rods shall be analyzed for the specific elements for which values are shown in this table. If the presence of other elements is indicated in the course of this work, the amount of those elements shall be determined to ensure that their total does not exceed the limit specified for "Other Elements, Total" in the last column of the table.
- Sulfur and phosphorus contents each shall not exceed 0.035%.
- ASTM/SAE Unified Numbering System for Metals and Alloys.

Tabla 4.2 Composición química del electrodo

Fuente: Norma AWS A5.21

Nickel and Cobalt Base Surfacing Electrodes—Chemical Composition Requirements

Deposit Composition, weight percent^{a, b, c}

AWS Classification	Annex A Reference	UNS Number ^d	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe	W	Co	B	V	Other Elements, Total
ECr-A	A7.2.1	W73006	0.7-1.4	2.0	2.0	25-32	3.0	1.0	5.0	3.0-6.0	Rem	—	—	1.0
ECr-B	A7.2.2	W73012	1.0-1.7	2.0	2.0	25-32	3.0	1.0	5.0	7.0-9.5	Rem	—	—	1.0
ECr-C	A7.2.3	W73001	1.7-3.0	2.0	2.0	25-33	3.0	1.0	5.0	11-14	Rem	—	—	1.0
ECr-E	A7.2.4	W73021	0.15-0.40	1.5	2.0	24-29	2.0-4.0	4.5-6.5	5.0	0.50	Rem	—	—	1.0
ENiCr-C	A7.3.1	W89606	0.5-1.0	—	3.5-5.5	12-18	Rem	—	3.5-5.5	—	1.0	2.5-4.5	—	1.0
ENiCrMo-5A	A7.3.2	W80002	0.12	1.0	1.0	14-18	Rem ^e	14-18	4.0-7.0	3.0-5.0	—	—	0.40	1.0
ENiCrFeCo	A7.3.3	W83002	2.2-3.0	1.0	0.6-1.5	25-30	10-33	7.0-10.0	20-25	2.0-4.0	10-15	—	—	1.0

Notes:

a. Single values are maximum percentages. Rem = Remainder.

b. The weld metal shall be analyzed for the specific elements for which values are shown in this table. If the presence of other elements is indicated in the course of this work, the amount of those elements shall be determined to ensure that their total does not exceed the limit specified for "Other Elements, Total" in the last column of the table.

c. Sulfur and phosphorus contents each shall not exceed 0.03%.

d. ASTM/SAE Unified Numbering System for Metals and Alloys.

e. Includes incidental cobalt.

Tabla 4.3 Composición química del electrodo

Fuente: Norma AWS A5.21

Copper Base Surfacing Electrodes—Chemical Composition Requirements

		Deposit Composition, weight percent ^{a,b}											Other Elements, Total	
AWS Classification	Annex A Reference	UNS Number ^c	Cu	Mn	P	Si	Fe	Al	Zn	Ni ^d	Pb	Sn		Ti
ECuAl-A2 ^f	A7.4.1.1	W60617	Rem	g	—	1.5	0.5-5.0	8.5-11.0	g	g	0.02	g	—	0.50
ECuAl-B ^f	A7.4.1.2	W60619	Rem	g	—	1.5	2.5-5.0	11-12	g	g	0.02	g	—	0.50
ECuAl-C	A7.4.1.2	W60625	Rem	—	—	1.0	3.0-5.0	12-13	0.02	—	0.02	—	—	0.50
ECuAl-D	A7.4.1.3	W61625	Rem	—	—	1.0	3.0-5.0	13-14	0.02	—	0.02	—	—	0.50
ECuAl-E	A7.4.1.3	W62625	Rem	—	—	1.0	3.0-5.0	14-15	0.02	—	0.02	—	—	0.50
ECuSi ^f	A7.4.1.4	W60656	Rem	1.5	g	2.4/4.0	0.50	0.01	g	g	0.02	1.5	—	0.50
ECuSn-A ^f	A7.4.1.5	W60518	Rem	g	0.05-0.35	g	0.25	0.01	g	g	0.02	4.0-6.0	—	0.50
ECuSn-C ^f	A7.4.1.5	W60521	Rem	g	0.05-0.35	g	0.25	0.01	g	g	0.02	7.0-9.0	—	0.50
ECuNi ^{e,f}	A7.4.1.6	W60715	Rem	1.0-2.5	0.02	0.50	0.40-0.75	—	g	29-33	0.02	g	0.50	0.50
ECuNiAl ^f	A7.4.1.7	W60632	Rem	0.5-3.5	—	1.5	3.0-6.0	8.5-9.5	g	4.0-6.0	0.02	g	—	0.50
ECuMnNiAl ^f	A7.4.1.8	W60633	Rem	11-14	—	1.5	2.0-4.0	7.0-8.5	g	1.5-3.0	0.02	g	—	0.50

Notes:

- a. Single values shown are maximum percentages. Rem = Remainder.
- b. The weld metal shall be analyzed for the specific elements for which values, or a "g," are shown in this table. If the presence of other elements is indicated in the course of this work, the amount of those elements shall be determined to ensure that their total does not exceed the limit specified for "Other Elements, Total" in the last column of the table.
- c. ASTM/SAE Unified Numbering System for Metals and Alloys.
- d. Includes cobalt.
- e. Sulfur is restricted to 0.015% maximum.
- f. This AWS classification is intended to correspond to the same classification that appears in AWS A5.6, Specification for Copper and Copper-Alloy Covered Electrodes. Because of revision dates the composition ranges may not be identical.
- g. These elements must be included in "Other Elements, Total."

Tabla 4.4 Composición química del electrodo

Fuente: Norma AWS A5.21

**Mesh Size and Quantity of
Tungsten Carbide (WC) Granules in
the Core of Tungsten Carbide Electrodes**

AWS Classification ^{a, b}	U.S. Standard Mesh Size of Tungsten Carbide Granules ^c	Quantity of Tungsten Carbide (WC1 + WC2) Granules, Weight Percent
EWCX-12/30	thru 12—on 30	60
EWCX-20/30	thru 20—on 30	60
EWCX-30/40	thru 30—on 40	60
EWCX-40	thru 40	60
EWCX-40/120	thru 40—on 120	60

Notes:

- "X" designates the type of tungsten carbide granules: X = 1 for WC1 granules, X = 2 for WC2 granules, X = 3 for a blend of WC1 and WC2 granules.
- These AWS classifications have been transferred to AWS A5.21:2001 without a change in classification for solid bare electrodes and rods and with the prefix "ERC" for electrode/rod made from metal or flux cored stock.
- The mesh size of the tungsten carbide granules may vary from that specified above, provided that no more than 5% of the granules are retained on the "thru" sieve, and that no more than 20% passes the "on" sieve.

SI Equivalents

U.S. Standard Mesh Size	Opening, mm
12	1.70
20	0.85
30	0.60
40	0.43
120	0.13

Tabla 4.5 Composición química del electrodo de tungsteno

Fuente: Norma AWS A5.21

**Chemical Composition of
Tungsten Carbide (WC) Granules**

Element	Composition, weight percent ^a		
	WC1	WC2	WC3
C	3.6–4.2	6.0–6.2	
Si	0.3	0.3	
Ni	0.3	0.3	
Mo	0.6	0.6	as agreed between purchaser and supplier
Co	0.3	0.3	
W	94.0 min	91.5 min	
Fe	1.0	0.5	
Th	0.01	0.01	

Note:

- Single values are maximum, unless noted otherwise.

Tabla 4.6 Composición química del electrodo de tungsteno

Fuente: Norma AWS A5.21

4.3 GUÍA DE ESPECIFICACIONES AWS DE LA SUPERFICIE DE LOS ELECTRODOS, PARA LA SOLDADURA DE ARCO DE METAL REVESTIDOS

4.3.1 SISTEMA DE LA CLASIFICACIÓN AWS A.5.21

El sistema por identificar de la clasificación de los electrodos en esta especificación sigue el modelo normal usado en otras normas AWS de especificaciones para relleno de metal.

La letra E representa el electrodo al principio de cada designación de la clasificación. Las letras inmediatamente después de la letra E son los símbolos químicos para los elementos principales en la clasificación. Así, CoCr es una aleación del cobalto-cromo, CuAl es una aleación de cobre-aluminio, etc. Donde más de uno de la clasificación es incluido en un grupo básico, las clasificaciones individuales en el grupo son identificadas por las letras A, B, C, etc. como en ECuSn-A, subdividiendo más allá se hace uso de números 1,2, etc. después de la última letra eje,ECuA1-A2.

Una letra adicional o el número se ha agregado a algunas designaciones en los requisitos de la composición en esta especificación difieren un poco de aquéllos de las versiones más tempranas para los electrodos de la misma clasificación básica. Tabla 4.7. Para una comparación de clasificaciones de los electrodos recubiertos usadas en ANSI/AWS A5.13-80 y aquéllos que se usaron en el documento actual; algunas clasificaciones se han cambiado un poco y otras están descontinuadas.

**Electrode Classification Comparison—
A5.13-80 and A5.13:2000**

A5.13-80 Classification	A5.13:2000 Classification ^a
EFe5-A EFe5-B EFe5-C	Deleted Similar to EFe6 Deleted
EFeMn-A EFeMn-B	Similar to EFeMn-A Similar to EFeMn-B
EFeCr-A1	Similar to EFeCr-A1A
ECoCr-A ECoCr-B ECoCr-C	ECoCr-A ECoCr-B ECoCr-C
ECuSi ECuAl-A2 ECuAl-B ECuAl-C ECuAl-D ECuAl-E ECuSn-A ECuSn-C	ECuSi Similar to ECuAl-A2 Similar to ECuAl-B Similar to ECuAl-C Similar to ECuAl-D Similar to ECuAl-E ECuSn-A ECuSn-C
ENiCr-A ENiCr-B ENiCr-C	Deleted Deleted ENiCr-C

Note:

a. The new classification for bare electrodes and rods for surfacing are in the AWS A5.21:2001.

Tabla 4.7 Comparación de los electrodos según su clasificación

Fuente: Norma AWS A5.21

4.4 DESCRIPCIÓN Y USO DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS

4.4.1 LOS ELECTRODOS DEL HIERRO-BASE

4.4.1.1 EFe1 y Electrodo de EFe2

Características: Los Depósitos hechos con estos electrodos presentan características en los aceros de gran calidad y de gran nivel conveniente para la maquinaria, para materiales de carbono y acero aleados. Los depósitos de carburo en las herramientas son maquinables.

Generalmente el depósito tiene una dureza en el rango de 25-50 HRC. Los electrodos EFe2 proporcionan una dureza más alta en la soldadura del material. Estos depósitos contienen la aleación suficiente para lograr la dureza

sin la necesidad de tratamiento de calor. La resistencia de abrasión es comparable a los aceros tratados térmicamente y de dureza igual.

Aplicaciones: Estos electrodos se usan para restaurar las partes de la maquinaria estropeadas en sus dimensiones originales eje, rodillos de contacto corredizo, los dientes de engranes de velocidad grandes y pequeños, árbol de levas, etc. La fuerza de compresión es alta y hace que estos materiales sean convenientes para la resistencia a la abrasión de los materiales

4.4.1.2 Los Electrodos de EFe3

Características: El revestimiento depositado por estos electrodos tiene una buena dureza superficial del material, tiene una dureza de (55-60 HRC) y una alta temperatura. Estos revestimientos se pueden aplicar en maquinarias que tengan roturas-libre con los procedimientos cuidadosos. Los depósitos no pueden mecanizarse y generalmente necesita esmerilado cuando requiere un buen terminando.

Aplicaciones: Se usan los electrodos de EFe3 para recubrir las superficies y bordes que requieren dureza alta y para los metales donde existen roturas-libres, como los bordes de herramientas y troqueles. Los revestimientos son compatibles con muchas herramientas de acero, los electrodos EFe3 se utilizan cuando existe abrasión por trabajos en la tierra dónde se encuentra el impacto alto.

4.4.1.3 Los Electrodos de EFe4

Características: Estos electrodos tendrán una capa (negra) cubriéndola y es conveniente para la aplicación en hierro colado. Los revestimientos en el material pueden hacerse relativamente quebradizos pero con los procedimientos adecuados esto se puede controlar. Se pueden mecanizar los revestimientos, se debe proporcionar una temperatura de recocido para refrescar el metal.

Aplicaciones: Los electrodos EFe4 se usan para reconstruir la maquinaria de hierro colado, eje, rodillos de contacto corredizo.

Aunque los electrodos EFe4 tienen un revestimiento compatible con el carbono y acero de baja-aleación, generalmente se prefieren los electrodos de EFe2 para tales aplicaciones.

4.4.1.4 Los Electrodos de EFe5

Características: El revestimiento realizado con el electrodo EFe5 es para trabajo en frío. El revestimiento con este electrodo debe tener una dureza en el rango de 50-55 HRC. El revestimiento depositado por estos electrodos tiene una buena dureza superficial del material y es maquinable sólo después de templar.

Aplicaciones: Las aplicaciones típicas del electrodo EFe5 son aquéllos que requieren de la fuerza de compresión alta y la abrasión moderada, eje, partes de maquinaria, árboles de levas, tambores de freno, etc.

4.4.1.5 Los Electrodos de EFe6

Características: Los revestimientos realizados por los electrodos de EFe6 son para las herramientas de aceros de gran velocidad con una dureza en el rango de 60 HRC o superior. El revestimiento mantiene un grado alto de temperatura de 1100°F (593°C).

El revestimiento depositado por los electrodos EFe6 tiene una buena dureza superficial del material y sólo son maquinables después de templar.

Aplicaciones: Las aplicaciones típicas combinan el servicio de alta temperatura con la abrasión severa, eje, las hojas de esquila, en arreglos de los troqueles, y picaduras en los troqueles.

4.4.1.6 Los Electrodos de EFe7

Características: Los electrodos de EFe7 son esencialmente una modificación del electrodo de EFe3 pero con el carbono más alto. Se mejoro la resistencia de abrasión, el revestimiento mejoro pero con algún sacrificio en la resistencia de impacto. La soldadura se endurece rápidamente, y tiene una dureza de 60

HRC o superior. Tienen un gran alivio a las fracturas. No pueden mecanizarse los depósitos.

Aplicaciones: Se usan los electrodos de EFe7 para recubrir superficies que requieren la resistencia a la abrasión. Las aplicaciones incluyen las mezcladoras de cemento, hojas de ventilador, hojas de la excavadora, y otras partes y equipo usadas para movimiento de tierra o construcción. El carbono, la aleación de aceros y los aceros limpios son los metales más compatibles.

4.4.1.7 Los Electrodos de EFeMn. (EFeMn-A, EFeMn-B)

Características: Los revestimientos que se hicieron con los electrodos EFeMn contiene 1.4% manganeso, aunque ellos pueden variar de 1.2-2.1%. Esta es una cantidad suficiente de austenita. La Austenita es un componente magnético de acero duro para conservar la dureza, debe evitarse durante la soldadura el calor excesivo. También contienen otros elementos, como 0.4% níquel, dará más estabilidad a la austenita; también se agregan individualmente cromo, molibdeno, y vanadio o en la combinación de 0.5 – 0.8% aumentara la fuerza y el rendimiento. La resistencia a la abrasión es un poco buena. Las superficies depositadas generalmente tienen una dureza de HRC 20, pero pueden trabajar con una dureza de HRC 55. Los depósitos son difíciles de mecanizar.

Aplicaciones: Estos electrodos se usan para la reconstrucción, reparación, y unión del campo austenítico de acero al manganeso. La habilidad de absorber el impacto hace que el revestimiento sea ideal para la reconstrucción de piezas estropeadas del equipo eje, aplanadoras y los rieles de ferrocarril.

4.4.1.8 Los Electrodos de EFeMnCr

Característica: Los revestimientos realizados con los electrodos de EFeMnCr tienen las características similares a los revestimientos de manganeso austenítico. El volumen del cromo depende de las calidades del acero limpio. Estos depósitos no pueden ser calentados con llama. Debe tenerse cuidado en la aplicación para evitar el aumento de calor, los depósitos son más estables que los electrodos de FeMn.

Aplicaciones: Se usan los electrodos de EFeMnCr para la reconstrucción, reparación, y unión del campo austenítico de acero al manganeso. Los electrodos de EFeMnCr ofrecen la ventaja agregada de utilizar para unir acero de manganeso austenítico y a acero del carbono.

4.4.1.9 EFeCr-A1A y Electrodos de EFeCr-A4

Características: Los revestimientos realizados con estos electrodos contendrá el carburo del cromo macizo en una matriz austenítico que proporciona resistencia de uso excelente y buena dureza. No pueden mecanizarse los depósitos. Para asegurar la composición del revestimiento deseada, se recomiendan dos capas. Las capas adicionales se deben aplicar con la cautela necesaria. Los electrodos son convenientes para soldar en aleaciones de carbono, aleaciones de austenita así como los hierros colados. El revestimientos de los electrodos de EFeCr-A1A, generalmente proporciona mayor resistencia al impacto, pero ligeramente menos resistente a la abrasión que el revestimiento con los electrodos de EFeCr-A4.

Aplicaciones: Frecuentemente se usan los depósitos para reparar las partes y equipo involucrados en transporte y aplastando de piedra, en la mina, etc., como los bordes del balde y dientes, martillos de impacto. Los coeficientes muy bajos de fricción se desarrollan como resultado de utilizar los productos en la tierra.

4.4.1.10 Los Electrodos de EFeCr-A2

Características: Los revestimientos realizados con los electrodos de EFeCr-A2 contiene el carburo del titanio en una matriz austenítica. El aumento debe limitarse a tres capas para minimizar y aliviar el agrietamiento.

Aplicaciones: Este grupo de electrodos de soldadura puede aplicarse a acero al carbono y manganeso austenítico de baja aleación. Frecuentemente se usan los electrodos en las industrias de la minería, la construcción, en el movimiento de tierra, y sacando piedra de una cantera.

4.4.1.11 Los Electroodos de EFeCr-A3

Características: El revestimiento realizado por los electrodos de EFeCr-A3 es similar al revestimiento usando por los electrodos de EFeCr-A1A, debido al más bajo volumen de manganeso, está presente una matriz martensítico, mientras tanto el depósito es algo quebradizo. Estos depósitos no son maquinables pero pueden terminarse esmerilando si es necesario.

Aplicaciones: Para reparar materiales sometidos a abrasión debido al movimiento de la tierra.

4.4.1.12 Los Electroodos de EFeCr-A5

Características: El revestimiento con los electrodos EFeCr-A5 contiene el carburo de cromo en una matriz de austenita. La soldadura realizada al material de acero magnético tiene la maquinabilidad buena. Debe soldarse varias capas para minimizar y comprobar el alivio de tensiones.

Aplicaciones: Frecuentemente se reparan componentes para aplicaciones que involucran fricción entre meta y metal y de metal a tierra que producen abrasión y bajan la tensión.

4.4.1.13 EFeCr-A6 y Electroodos de EFeCr-A7

Características: Estos electrodos tienen un porcentaje de carbono más alta que los electrodos de EFeCr-A5. El revestimiento contiene los carburos de cromo hexagonales en una matriz de carburo de austenita y tiene una dureza de 50-60 HRC. Los depósitos desarrollan una aceptación a la tensión. El aumento de molibdeno lleva al material a tener una resistencia a la abrasión y a la tensión más alta. La soldadura se puede aplicar para reparar aceros al carbono, aleaciones, o acero de manganeso de austenita baja.

Aplicaciones: Se usa frecuentemente en materiales que involucran tensiones bajas y materiales con abrasión combinadas.

4.4.1.14 Los Electroodos de EFeCr-A8

Características: Los electrodos de EFeCr-A8 tienen un porcentaje de cromo más alta que los electrodos de EFeCr-A3. El revestimiento contiene carburos

de cromo hexagonales en una matriz de austenita y tiene una dureza de 50-60 HRC. El volumen de cromo tiende a disminuir la dureza, mientras aumenta la resistencia a la abrasión. La soldadura puede aplicarse a materiales que contengan carbono, aleaciones, o manganeso austenítico.

Aplicaciones: Frecuentemente se usa para aplicaciones que involucran la abrasión, tensión baja o ambas combinadas.

4.4.1.15 Los Electroodos de EFeCr-EX

Características: El revestimiento de esta familia de electroodos contiene los carburos de cromo finamente dispersados junto con los carburos más metálicos (el vanadio, niobio [el columbium], tungsteno, o titanio). Los revestimientos resultantes no se pueden maquinar, mantiene su dureza en caliente 1200°F (650°C), tiene buena resistencia a la abrasión.

Aplicaciones: Se aplican a equipos que tienen la abrasión de tensión alta y combinada con el impacto moderado.

4.4.2 LOS ELECTRODOS DE REVESTIMIENTO DE COBALTO-BASE

4.4.2.1 Los Electroodos de ECoCr-A

Características: El revestimiento con los electroodos de ECoCr-A se caracteriza por una estructura híper-eutéctico que consiste en una red de aproximadamente 1.3% de carburos de cromo eutéctico distribuido en un cobalto-cromo-tungsteno y la matriz de la solución sólida. El resultado es un material con una combinación de resistencia a la tensión su uso abrasivo acoplado con la dureza ayuda para resistir algún grado de impacto. Las aleaciones del cobalto también son relativamente buenas para resistir el uso de trabajo de metal a metal. Esta aleación también tiene buena resistencia y es excelente contra la corrosión, oxidación, y la temperatura elevada, tiene un máximo de 1200°F (650°C). Estas aleaciones no están sujetas a la transformación alotrópica y por consiguiente no pierde sus propiedades si el material de baja aleación es tratada térmicamente.

Aplicaciones: La aleación se recomienda para casos donde el uso es acompañado por las temperaturas elevadas y donde la corrosión está envuelta, o ambos. Las aplicaciones típicas incluyen las válvulas de flujo de automotores y fluidos, guías, los bocines calientes, etc.

4.4.2.2 Los Electrodo de ECoCr-B

Características: El revestimiento realizado con los electrodos de ECoCr-B es similar en la composición de los electrodos de ECoCr-A salvo un carburo ligeramente más alto (aproximadamente 1.6%). La aleación también tiene una dureza ligeramente más alta. Tiene bajo impacto y buena resistencia a la corrosión. Pueden mecanizarse los revestimientos con las herramientas de carburo.

Aplicaciones: Los electrodos de ECoCr-B se usan intercambiamente con ECoCr-A. La opción dependerá de la aplicación y de las especificaciones.

4.4.2.3 Los Electrodo de ECoCr-C

Características: Los revestimientos realizados con esta aleación tienen un carburo más alto (1.9%) que los electrodos de ECoCr-A o los electrodos de ECoCr-B. Tiene la resistencia de uso más alta, acompañada por las reducciones en el impacto y resistencia a la corrosión. La dureza más alta también significa una tendencia mayor a enfatizar.

Mientras los depósitos del cobalto-cromo ablandan un poco a las temperaturas elevadas, ellos normalmente son considerados inmunes a templar.

Aplicaciones: Los revestimientos realizados con los electrodos del ECoCr-C se usan para reconstruir a los rotores de mezcladoras y artículos que se encuentran con abrasión severa e impacto bajo.

4.4.2.4 Los Electrodo de ECoCr-E

Características: Los electrodos de ECoCr-E tienen muy buena fuerza y buena ductilidad a las temperaturas de 1600°F (871°C). Los revestimientos son resistentes al choque térmico, y a la oxidación. Se encontraron aplicaciones

tempranas de estos tipos de aleaciones en los componentes de artefacto de motor de reacción como las hojas de la turbina y veletas.

Aplicaciones: Los revestimientos con los electrodos de ECoCr-E, son similar a aquéllos revestimientos realizados con los electrodos de ECoCr-A, incluye rodillos guía, troqueles forjando, hojas del esquila calientes.

La dureza típica para las soldaduras de cobalto y sus electrodos son:

ECoCr-A 23-47 HRC

ECoCr-B 34 - 47 HRC

ECoCr-C 43-58 HRC

ECoCr-E 20-32 HRC

4.4.3 LOS ELECTRODOS DE REVESTIMIENTO BAJOS AL NÍQUEL

4.4.3.1 Los Electrodos de ENiCr-C

Características: El revestimiento de este electrodo debe tener una estructura que consiste en carburos de cromo y la matriz rica en níquel. La base de níquel y el volumen del cromo dan a estos depósitos buena resistencia a la corrosión. Debe tenerse cuidado cuando los depósitos de la superficie tienden a desquebrarse. Esta aleación posee excelente resistencia a la abrasión.

Aplicaciones: El revestimiento del electrodo de ENiCr-C fluye muy fácilmente, normalmente posee un buen acabado superficial. Las aplicaciones típicas incluyen rejas de arado, mangas de la bomba, los pistones, e impulsores, cabrestantes, los filtros de la centrífuga, etc. Los depósitos tienen la resistencia a la corrosión alta y normalmente requieren esmerilado para dar un acabado. El revestimiento de una sola capa tiene una dureza de 35-45 HRC. Las varias capas revestidas tienen una dureza de 44-56 HRC.

4.4.3.2 Los Electrodo de ENiCrMo-5A

Características: Los electrodos de ENiCrMo-5A es una solución sólida fuerte, la aleación con fase de carburo es uno por ciento relativamente más dura. El depósito resultante es duro y difícilmente maquinable.

Los depósitos tienen la habilidad de retener la dureza a 1400°F (760°C). Los depósitos son maquinable con la herramienta de gran velocidad y tienen excelente resistencia al uso en altas temperaturas.

Aplicaciones: Estos electrodos se usan en reconstruir y reparar troqueles forjando en calientes, las hojas de esquila calientes, los cilindros de la guía, los pedazos de la tenaza, las campanillas de horno de explosión, etc.

4.4.3.3 Los Electrodo de ENiCrFeCo

Características: El revestimiento con estos electrodos contiene un fragmento de volumen bastante grande de carburos de cromo hiper-eutéctico distribuido a lo largo de la microestructura. La aleación ofrece muchas de las mismas características de rendimiento usando con los electrodos ECoCr-C o ENiCr-C. El níquel reducido y el volumen bajo del cobalto, bajan las propiedades de resistencia a la corrosión y al desgaste.

Aplicaciones: Se prefiere soldar usando los electrodos de ENiCrFeCo donde la abrasión es alta y (el impacto bajo) es un factor mayor. Se retribuyen las aplicaciones típicas los tornillos, componentes del mezclador, etc.

4.4.4 LOS ELECTRODOS REVESTIDOS DE ALEACIÓN DE BASE DE COBRE

Se usan los electrodos de aleación de base de cobre según su clasificación, las especificación son para depósito de cubiertas y embutición. Las superficies son resistentes a la corrosión.

Se usan los electrodos de ECuAl-A2 por tener una dureza de 130 a 150 HB y por tener una buena resistencia a la corrosión.

Se usan los electrodos de ECuAl-B y electrodos de ECuAl-C principalmente por tener una dureza en el rango de 140-220 HB. Estas aleaciones no se recomiendan para aplicaciones que requieren resistencia a la corrosión,

Se usan los electrodos de ECuAl-D y electrodos de ECuAl-E para superficies ásperas y cuando la resistencia es alta, tienen una dureza en el rango de 230-320 HB, como por ejemplo los arboles de levas, los platos de embrague, los troqueles, etc. Estas aleaciones también se usan para reparar troqueles que tienen titanio, bajo-carbono y aceros limpios. Estas aleaciones no se recomiendan para aplicaciones que requieren la resistencia a la corrosión. Los electrodos de ECuSi se usan principalmente por la buena resistencia a la corrosión.

Se usan los electrodos de cobre-estaño (ECuSn) principalmente por la dureza que es baja, de estas aleaciones se requiere tener una buena resistencia a la corrosión y resistencia al uso.

Se usan los electrodos de cobre-níquel (ECuNi) para reconstruir tiene 70/30, 80/20, y 90/10% aleación de cobre o de níquel o la aleación de cobre-níquel. Generalmente no es necesario precalentar.

Se usan los electrodos de cobre-níquel-aluminio (ECuNiAl) para reconstruir piezas de níquel-aluminio-bronce o los componentes forjados. Las aplicaciones típicas son aquéllos componentes que requieren una resistencia alta a la corrosión, o a la cavitación en sal o el agua sal.

Se usan los electrodos de ECuMnNiAl para reconstruir piezas de manganeso-níquel-aluminio echadas de bronce o materiales forjados. Las aplicaciones típicas incluyen aquéllos componentes que requirieren de resistencia excelente a la corrosión, y a la cavitación.

4.4.4.1 DUREZA

Para los rangos de dureza típicos. Tabla 4.8 El revestimiento de la aleación de cobre-base no se recomienda para el uso a altas temperaturas. Las propiedades mecánicas, sobre todo la dureza, tenderán a disminuir de forma consistente con el aumento de la temperatura 400°F (250°C)

**Approximate Weld
Deposit Hardness (SMAW)**

AWS Classification	Brinell Hardness ^a	
	3000 kg Load	500 kg Load
ECuAl-A2	130-150	—
ECuAl-B	140-180	—
ECuAl-C	180-220	—
ECuAl-D	230-270	—
ECuAl-E	280-320	—
ECuSi	—	80-100
ECuSn-A	—	70-85
ECuSn-C	—	85-100
ECuNi	—	60-80
ECuNiAl	160-200	—
ECuMnNiAl	160-200	—

Note:

a. As-welded condition.

Tabla 4.8 Rangos de dureza

Fuente: Norma AWS A5.21

4.4.5 LOS ELECTRODOS REVESTIDOS DE CARBURO DE TUNGSTENO

Características: Los electrodos de carburo de tungsteno contienen 60% del peso de carburo de tungsteno (gránulos). El carburo de WC1 es una mezcla de WC y W₂C. El carburo de WC2 está formado de micro cristales WC. Puede variar su dureza de la matriz del depósito de 30 HRC a 60 HRC que dependen de la técnica de soldadura. La resistencia de abrasión de depósitos de carburo de tungsteno es excelente.

Aplicaciones. Los depósitos de carburo de tungsteno son aplicados en superficies sujetadas a abrasión corrediza combinada con el impacto limitado. Se utiliza para las perforaciones de taladro en tierra, excavadoras, y maquinas para cultivar. Herramientas específicas que pueden requerir este tipo de soldadura de revestimiento incluyen los pedazos de taladro de aceite y juntas de la herramienta, dientes de excavadora, y maquinaria para cultivar.

NOTA: Para observar más detalles de otros electrodos ver anexos

CAPITULO V

APLICACIONES

5.1 PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES PREVIOS A LA SOLDADURA

5.1.1 BALLESTA

5.1.1.1 CARACTERÍSTICAS

DEFINICIÓN.- Son resortes de múltiples hojas, empleados en el sistema de suspensión de unidades de transporte.

COMPOSICIÓN QUÍMICA.- El análisis químico de la región fracturada refleja lo siguiente:

1. Núcleo: Fe-0.64%C-0.73%Cr-0.83%Mn-0.22%Si-0.013%S-0.001%P-0.19%Cu, y trazas de otros elementos;
2. Superficie: Fe-0.48%C-0.73%Cr-0.83%Mn-0.24%Si-0.013%S-0.001%P-0.21%Cu y trazas de otros elementos.

El material de la ballesta corresponde, de acuerdo con lo especificado, al acero SAE/AISI 5160H o bien al UNS H51600.

DUREZA.- La dureza habitual de las ballestas es de 42 a 49 HRC, mientras la ballesta utilizada en la práctica inicialmente tiene una dureza de 45 HRC.

5.1.1.2 PREPARACIÓN DE LA BALLESTA PARA LA REPARACIÓN

DESOXIDACIÓN DE BALLESTA.- Se procedió a aplicar desoxidante en la pieza para eliminar el óxido, posteriormente se llevo a la grata para eliminar el óxido restante. Figura 5.1



Figura 5.1 Proceso de desoxidación ballesta, rueda dentada cónica y eje de transmisión

Fuente: Laboratorio de Soldadura

TRATAMIENTO TÉRMICO.- Se realizó recocido de regeneración para bajar la dureza de la pieza, se efectuó en la fragua alcanzando una temperatura de 810° C y el enfriamiento se lo hizo en misma fragua. Figura 5.2. De esta forma la dureza se redujo a 32 HRC. Figura 5.3. Para que la soldadura se pueda realizar sin problemas y que la ballesta no se fracture a futuro.



Figura 5.2 Recocido de la ballesta

Fuente: Taller de Procesos de Producción Mecánica



Figura 5.3 Ensayo de dureza ballesta

Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales

5.1.2 RUEDA DENTADA CÓNICA

5.1.2.1 CARACTERÍSTICAS

DEFINICIÓN.- El engranaje es una rueda o cilindro dentado empleado para transmitir un movimiento giratorio o alternativo desde una parte de una máquina a otra.

COMPOSICIÓN QUÍMICA.- Para determinar la composición química de rueda dentada se realizó un examen metalográfico. Figura 5.4. Obteniendo como resultado la siguiente composición. Figura 5.5



Figura 5.4 Probeta preparada para realizar el ensayo metalográfico

Fuente: Laboratorio de Metalografía



Figura 5.5 Acero tratado térmicamente por temple y revenido, se observa la presencia de martensita. Además se observa en detalle inclusiones de sulfuro de manganeso y silicato. **400x**

Fuente: Laboratorio de Metalografía

DUREZA.- Se tomo las medidas de dureza antes de efectuar la soldadura de reparación teniendo como resultado un promedio de dureza en los dientes de 66.5 HRC. Figura 5.6



Figura 5.6 Ensayo de dureza rueda dentada cónica
Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales

5.1.2.2 PREPARACIÓN DE LA RUEDA DENTADA CÓNICA PARA LA REPARACIÓN

DESOXIDACIÓN DE LA RUEDA DENTADA CÓNICA.- Se procedió a aplicar desoxidante en la pieza para eliminar el óxido, posteriormente se llevo a la grata para eliminar el óxido restante, además se realizo un cepillado para eliminar el oxido de la parte interior de la rueda dentada.

5.1.3 EJE DE TRANSMISIÓN

5.1.3.1 CARACTERÍSTICAS

DEFINICIÓN.- Se conoce como eje de transmisión o árbol de trasmisión a todo objeto axisimétrico especialmente diseñado para transmitir potencia. Un árbol de transmisión es un eje que transmite un esfuerzo motriz y está sometido a solicitaciones de torsión debido a la transmisión de un par de fuerzas y puede estar sometido a otros tipos de solicitaciones mecánicas al mismo tiempo.

COMPOSICIÓN QUÍMICA.- Para determinar la composición química del eje de transmisión se realizo un examen metalográfico Figura 5.7. Obteniendo como resultado la siguiente composición. Figura 5.8.



Figura 5.7 Probeta preparada para realizar el ensayo metalográfico

Fuente: Laboratorio de Metalografía



Figura 5.8 Acero aleado de alto contenido de carbono, se observa una estructura completamente martensítica en la matriz del material. (martensita más fina). **400x**

Fuente: Laboratorio de Metalografía

DUREZA.- Se tomo las medidas de dureza antes de efectuar la soldadura de reparación teniendo como resultado en el eje un promedio de dureza de 52.5 HRC. Figura 5.9



Figura 5.9 Ensayo de dureza eje de transmisión
Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales

5.2 PRÁCTICA Nº 1

5.2.1 TITULO: REPARACIÓN DE BALLESTA

5.2.2 OBJETIVOS:

Recuperar la ballesta

Mantener sus propiedades mecánicas

5.2.3 EQUIPO UTILIZADO

Amoladora

Soplete

Soldadora eléctrica

Electrodos E312-16

Grata

Cepillo metálico

Aceite

5.2.4 PROCEDIMIENTO

1. Preparación del biselado en X previo a la soldadura
2. Pre calentamiento de la ballesta
3. Soldadura de reparación
4. Tratamiento térmico (temple), a una temperatura de 850° C.
5. Enfriamiento en aceite.

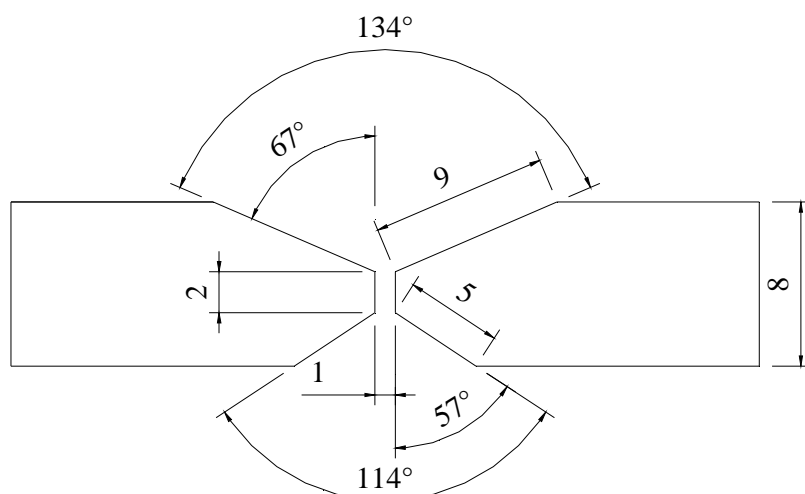
6. Medición de dureza para verificar propiedades iniciales, obteniendo una dureza de 40 HRC. Figura 5.10



Figura 5.10 Procedimiento
Fuente: Laboratorio de Soldadura

5.2.5 ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre de la compañía: EPN-Tesis PQR No: 1 Norma: ANSI/AWS A5.21	No. Identificación: EPN 001 Fecha: 2010/01/20 Realizado por: Xavier Chalá Daniel Molina
Junta Utilizada Tipo de junta: A tope Tipo de bisel: Bisel en X Abertura raíz: 1mm (+0.4, -0.0mm) Talón: 2mm (± 0.5 mm) Preparar bisel: Si Método: amoladora	Técnica de Soldadura Proceso de soldadura: SMAW Tipo de soldadura: Manual Soldadura a: Dos lados Cordón de respaldo: Si Limpieza: Pase raíz: Amoladora Pases siguientes: Cepillo metálico, grata
Metal Base Especificación: ASTM 5160H Espesor: 8mm Ancho: 60mm	Posición de Soldadura Posición de Soldadura: 1G Progresión: Descendente Técnica: Varios pases
Metal de Aporte Diámetro: 3.2mm Denominación AWS: E312-16 Casa Comercial: AGA Denominación Comercial: R 91	Pre calentamiento: 150° C Temperatura entre pasadas máx: 300° C Tiempo entre pases: 30 seg.
	Notas Verificar alineación de la junta Asegurar limpieza de las partes



No de Pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De Avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de Polaridad	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E 312-16	3.2	DC +	80-110	22-27	120	x	
2	E 312-16	3.2	DC +	80-110	22-27	120	x	
3-n	E 312-16	3.2	DC +	80-110	22-27	120	x	

5.3 PRÁCTICA Nº 2

5.3.1 TITULO: REPARACIÓN DE LA RUEDA DENTADA CÓNICA

5.3.2 OBJETIVOS:

Recuperación de la rueda dentada cónica

Mantener sus propiedades mecánicas

5.3.3 EQUIPO UTILIZADO

Amoladora

Soplete

Soldadora eléctrica

Electrodos Olimpia A

Grata

Cepillo metálico

Arena

5.3.4 PROCEDIMIENTO

1. Pre calentamiento de la rueda dentada cónica
2. Soldadura de reparación.
3. Pos-calentamiento, a una temperatura de 288° C, con enfriamiento en arena.
4. Medición de dureza para verificar propiedades iniciales, obteniendo una dureza de 63 HRC. Figura 5.11

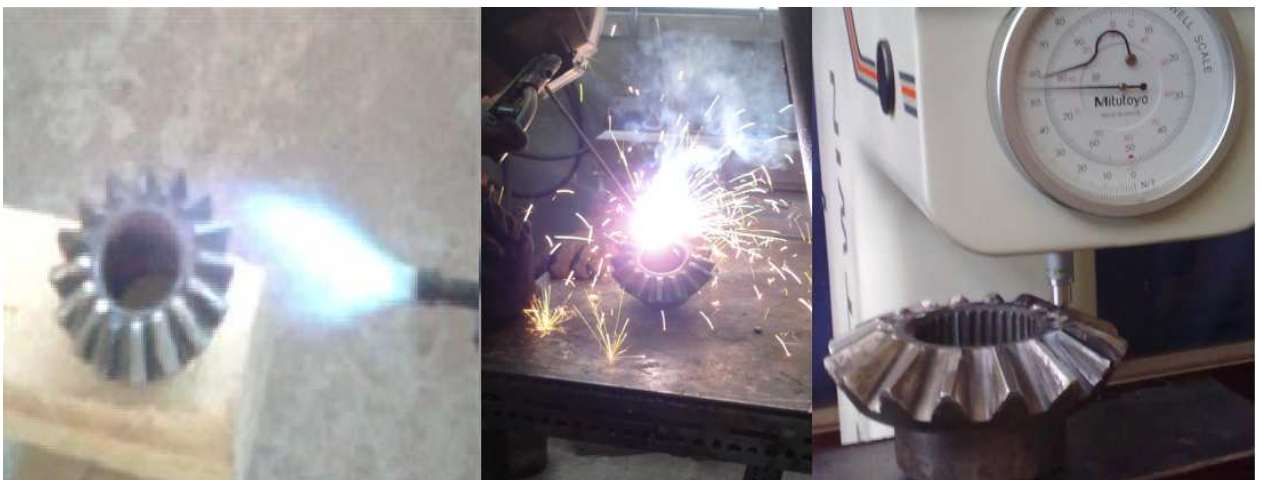
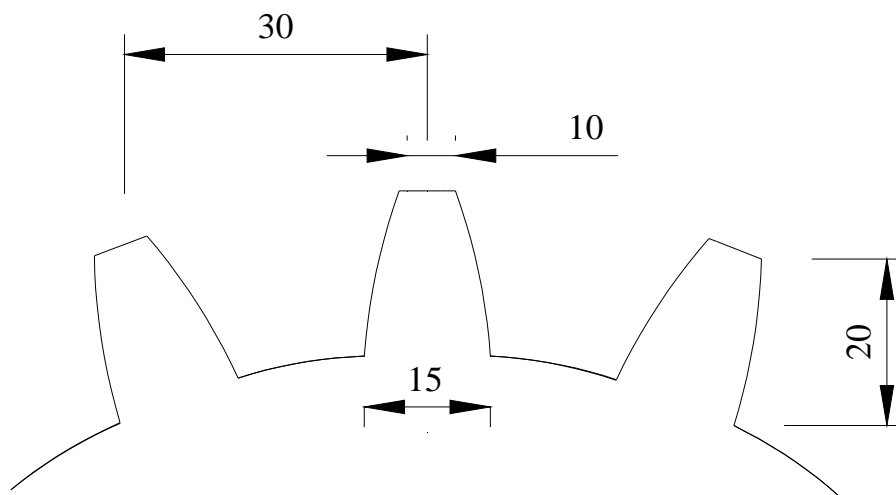


Figura 5.11 Reparación de la rueda dentada

Fuente: Laboratorio de Soldadura

5.3.5 ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre de la compañía: EPN-Tesis PQR No: 2 Norma: ANSI/AWS A5.21	No. Identificación: EPN 002 Fecha: 2010/01/20 Realizado por: Xavier Chalá Daniel Molina
Junta Utilizada Tipo de junta: Ninguna Tipo de soldadura: De relleno	Técnica de Soldadura Proceso de soldadura: SMAW Tipo de soldadura: Manual Soldadura a: Un lado Cordón de respaldo: No Limpieza: Pase raíz: Amoladora Pases siguientes: Cepillo metálico, grata
Metal Base Especificación: BOHLER E200, JIS SNC 22 Espesor: 15mm Largo: 30mm	Posición de Soldadura Posición de Soldadura: 1G Progresión: Descendente Técnica: Varios pases
Metal de Aporte Diámetro: 3.2mm Denominación Olimpia A Casa Comercial: Colimpo S.A. Denominación Comercial: Olimpia A	Pre calentamiento: 150° C Temperatura entre pasadas máx: 350° C Tiempo entre pases: 20 seg.
	Notas <ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación del cordón • Asegurar limpieza de las partes



No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De Avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de Polaridad	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	Olimpia A	3.2	DC +	110	27	90	x	
2	Olimpia A	3.2	DC +	110	27	90	x	
3-n	Olimpia A	3.2	DC +	110	27	90	x	

5.4 PRÁCTICA Nº 3

5.4.1 TITULO: REPARACIÓN DEL EJE DE TRANSMISIÓN

5.4.2 OBJETIVOS:

Recuperación del eje de transmisión

Mantener sus propiedades mecánicas

5.4.3 EQUIPO UTILIZADO

Amoladora

Fragua (cilindro de gas industrial, ventilador, termómetro)

Soplete

Soldadora eléctrica

Electrodos Olimpia B

Grata

Cepillo metálico

Arena

5.4.4 PROCEDIMIENTO

1. Tratamiento térmico (Recocido), a una temperatura de 700° C, con enfriamiento en la fragua, se realizó el tratamiento térmico debido a que el material al ser soldado se fisuro debido a la alta dureza, con este tratamiento se logro un alivio de tensiones y así el material pudo ser soldado sin presentar fisuras posteriores.
2. Precalentamiento del eje de transmisión
3. Soldadura de reparación
4. Pos-calentamiento, a una temperatura de 257° C
5. Enfriamiento en arena.
6. Medición de dureza para verificar propiedades iniciales, obteniendo una dureza de 50 HRC. Figura 5.12



Figura 5.12 Procedimiento
Fuente: Laboratorio de Soldadura

5.4.5 ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre de la compañía: EPN-Tesis PQR No: 3 Norma: ANSI/AWS A5.21	No. Identificación: EPN 003 Fecha: 2010/01/20 Realizado por: Xavier Chalá Daniel Molina
Junta Utilizada Tipo de junta: Ninguna Tipo de soldadura: De relleno	Técnica de Soldadura Proceso de soldadura: SMAW Tipo de soldadura: Manual Soldadura a: Un lado Cordón de respaldo: No Limpieza: Pase raíz: Amoladora Pases siguientes: Cepillo metálico, grata
Metal Base Especificación: BOHLER VCL-1, AISI 4140 Espesor: 15mm Ancho: 30mm Largo: 25mm	Posición de Soldadura Posición de Soldadura: 1G Progresión: Descendente Técnica: Varios pases Precalentamiento: 180° C Temperatura entre pasadas máx.: 320° C Tiempo entre pases: 12 seg.
Metal de Aporte Diámetro: 3.2mm Denominación Olimpia B Casa Comercial: Colimpo S.A. Denominación Comercial: Olimpia B	

					Notas			
					<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación del cordón • Asegurar limpieza de las partes 			
No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De Avance (mm/min.)	Técnica de Soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de Polaridad	Intensidad (Amperios)			oscilado	Recto
1	Olimpia B	3.2	DC +	95	24	150	x	
2	Olimpia B	3.2	DC +	95	24	150	x	
3-n	Olimpia B	3.2	DC +	95	24	150	x	

5.5 ENSAYOS NO DESTRUCCTIVOS

5.5.1 DEFINICIÓN

Se denomina ensayo no destructivo (también llamado END) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo.

En la industria metalúrgica, metal-naval, aeronáutica, etc.

Como disciplina tecnológica, los ensayos no destructivos tienen por objetivo:

Asegurar calidad y confiabilidad.

Prevenir accidentes.

Producir beneficios económicos.

Contribuir al desarrollo de la ciencia de los materiales, mejorar en diseños al realimentar a esa etapa información detectada.

Todos los ensayos no destructivos son efectuados de acuerdo a normas técnicas internacionales, de entidades como: ASTM - ASME - AWS - API - IIW - etc.

5.5.2 CLASIFICACIÓN

Los END, más comunes utilizados en la industria, se clasifican de acuerdo al alcance que poseen en cuanto a la detección de fallas, por lo que se dividirán los mismos de acuerdo a los siguientes parámetros:

Discontinuidades Superficiales:

 Ensayo de líquidos penetrantes

 Ensayo de partículas magnéticas

Discontinuidades Internas:

 Ensayo Radiográfico

 Ensayo ultrasónico

5.5.2.1 LÍQUIDOS PENETRANTES

El ensayo de Líquidos Penetrantes es uno de los E.N.D. más utilizados para la detección de defectos o discontinuidades que se encuentran abiertas a la superficie del material. Su aplicación es en todo tipo de materiales, ferrosos y no ferrosos, cerámicas, plásticos, etc.

Los ensayos por Líquidos Penetrantes se utilizan para la detección de defectos de fabricación, fisuras por fatiga, control en soldaduras en materiales no ferrosos, como ser aceros inoxidable austeníticos, aleaciones de cobre, etc.

Figura 5.13



Figura 5.13 Aplicación de Líquidos Penetrantes

Fuente: www.dualtm.com

Aplicaciones:

Detección de grietas superficiales en todos los metales

Ventajas:

Simple de usar, preciso y fácil de interpretar

Desventajas:

No sirve para detectar fallas internas en los materiales

5.5.2.2 PARTÍCULAS MAGNETIZABLES

Este método es un medio sensible para localizar fisuras superficiales pequeñas y angostas en materiales ferromagnéticos.

Se puede producir indicaciones de fisuras con tamaños suficientes para ser vista a ojo desnudo, pero si la apertura de la fisura es demasiado grande puede no formarse la indicación.

En general la mayor sensibilidad es para discontinuidades superficiales y disminuye rápidamente con el incremento de la profundidad de las discontinuidades (sub–superficiales) por debajo de la superficie.

Existe pocas o ninguna limitación en el tamaño o forma de las piezas a ser inspeccionadas. Normalmente no es necesario una complicada limpieza inicial ya que las fisuras rellenas de materiales extraños pueden ser detectadas.

Figura 5.14

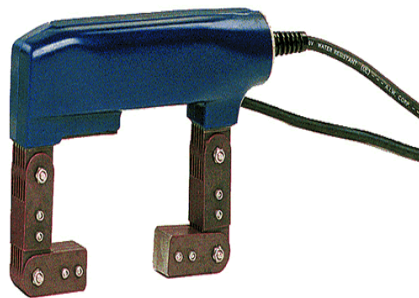


Figura 5.14 Equipo de Partículas Magnetizables.

Fuente: www.aireyespacio.com

Limitaciones:

Hay ciertas limitaciones que el operador debe considerar, por ejemplo el espesor de capas de pintura u otros recubrimientos no magnetitos como plateados que pueden afectar adversamente a la inspección.

Aplicaciones:

Detección de discontinuidades en materiales ferromagnéticos de cualquier tipo, en la superficie o cerca de ésta.

Ventajas:

Método simple, fácil, portable y rápido

Desventajas:

Las piezas deben ser limpiadas antes y desmagnetizadas después

El flujo magnético debe ser normal al plano del defecto

5.5.2.3 RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL POR RAYOS X

Permite obtener información sobre la macroestructura interna de una pieza o componente. Este ensayo permite obtener información sobre la eventual

presencia de discontinuidades, cambios de sección, variaciones locales de densidad o composición. Se utiliza en materiales fundidos, controles en soldadura, estructuras y componentes aeronáuticos (remachados, soldados). El carácter permanente del registro obtenido por la película radiográfica, constituye una de las ventajas del método. Figura 5.15



Figura 5.15 Equipo de Rayos X.

Fuente: www.aireyespacio.com

Aplicaciones:

Detección de flujos internos y discontinuidades como grietas, corrosión, variaciones de espesor o inclusiones

Ventajas:

No requiere de desarmado de piezas

Es muy sensible y proporciona una impresión en película

Desventajas:

Peligro de radiación

Se necesita personal entrenado y equipos de tratamiento de imágenes

Requiere de corriente externa

Requiere equipamiento especial para situar el tubo de rayos x y la película

5.5.2.4 ULTRA SONIDO

El ultrasonido es una excelente herramienta de control de calidad que puede ser explotada aun más con mayor beneficio para caracterizar uniones o discontinuidades en materiales. Figura 5.16.

Sus posibilidades de aplicación son muy amplias y cubre, industria metalúrgica, construcciones navales, aeronáuticas y mantenimiento general en industrias.



Figura 5.16 Equipo de Ultrasonido

Fuente: www.aireyespacio.com

Descripción general del método:

Utilizando cristales (piezas eléctricas que tienen la propiedad de vibrar al recibir una excitación eléctrica) es decir, que pueden producir un pulso eléctrico cuando son citados mecánicamente inducimos en materiales con propiedades elásticas, ondas mecánicas ultrasónicas que viajan a través de la pieza, hasta encontrar una discontinuidad, en la cual se reflejan y al llegar nuevamente al cristal, son transformados en pulsos eléctricos que mediante un osciloscopio se nos presentan en la pantalla de catódicos en forma de ecos (picos).

Aplicaciones:

Detección de discontinuidades en la superficie y cerca de la superficie mediante técnicas de pulsos y ecos

Ventajas:

Rápido y fácil de operar

Resultados inmediatos

Alta precisión, transportable y alta sensibilidad

Desventajas:

Se requiere operadores entrenados

Requiere corriente externa

La orientación de la grieta debe ser conocida para seleccionar el tipo de onda usada

Se requieren patrones para ajustar el instrumento

5.6 PRÁCTICA Nº 1

5.6.1 TITULO: RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL DE LA BALLESTA

5.6.2 OBJETIVOS:

Determinar la calidad del cordón de soldadura

Determinar la calidad radiográfica de la ballesta

Interpretar la radiografía y evaluar las posibles fallas

5.6.3 EQUIPOS

Máquina de rayos X

5.6.4 PROCEDIMIENTO

Se midió el espesor de la junta soldada (8mm) para escoger el tamaño de la película

Datos Tabla 5.1

DENSIDAD		PELICULA		DISTANCIA	
N = 1	T x 1	Gevaert	Structurix	35 cm (14")	Tx0,25
N = 1,5	T x 1,6	D10 Tx1	D7 Tx1	50 cm (20")	Tx0,5
N = 2	T x 2,2	D7 Tx4	D4 Tx3,7	70 cm (27,5")	Tx1
N = 2,5	T x 3	D4 Tx15	D2 Tx15	100 cm (40")	Tx2
		A	B	140 cm (55")	Tx4
				200 cm (80")	Tx8,8

Tabla 5.1 Diagrama de operación de la máquina de rayos X, laboratorio de END

Fuente: Manual de E.N.D. EPN

N= densidad= 2,2

P= película= 1,4

D= distancia= 0,5

Calculo de los parámetros Tabla 5.2

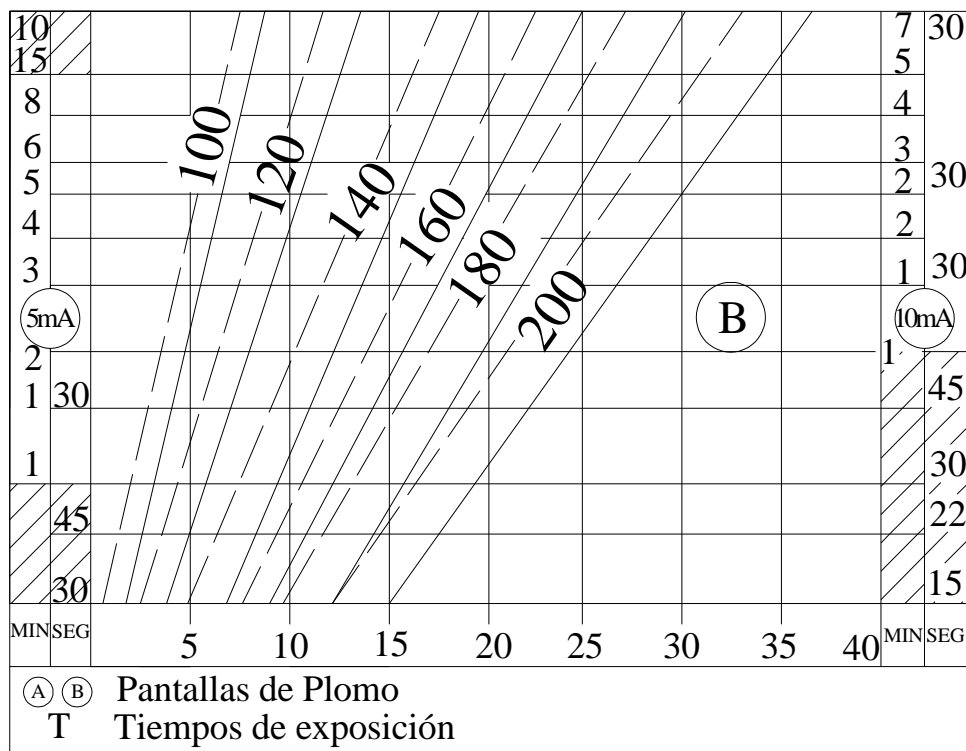


Tabla 5.2 Calculo de parámetros

Fuente: Manual de E.N.D. EPN

$$t_{\text{exp}} = t_c \cdot f_n \cdot f_p \cdot f_D \cdot f_v$$

t_{exp} = Tiempo de exposición

t_c = Tiempo de diagrama de exposición

f_n = Factor de corrección por densidad

f_p = Factor de corrección por película

f_D = Factor de corrección por distancia

f_v = Factor de corrección por varios

$$t_{\text{exp}} = 50 \times 2.2 \times 1.4 \times 0.5 \times 1$$

$$t_{\text{exp}} = 77 \text{ seg.} \quad \Rightarrow \quad t_{\text{exp}} = 1.3 \text{ min.}$$

Recaldeo de la máquina de rayos X Figura 5.17



Figura 5.17 Recaldeo del equipo
Fuente: Laboratorio de END

En la valija de comando, llevar a cero el medidor de Kv y el de mA

$$Kv = 140$$

$$mA = 20$$

Calcular el tiempo de permanencia del equipo en el Kv de ascenso, de acuerdo con el tiempo en el que, el equipo no ha estado funcionando.

Tiempo de permanencia = 30 seg.

Tiempo de parada = 8 H – 7 días

Tiempos calculados según Tabla 5.3

TIEMPO DE PARADA	TIEMPO DE PERMANENCIA HASTA LLEGAR AL KV DESEADO
1 a 8 horas	10 s
8 horas a 7 días	30 s
1 a 4 semanas	1 min
Más de un mes	2 min

Tabla 5.3 Tiempos de Recaldeo
Fuente: Manual de E.N.D. EPN

Preparación de la ballesta para llevarla al equipo de rayos X. Figura 5.18



Figura 5.18 Preparación de la ballesta

Fuente: Laboratorio de END

Toma de la radiografía de la ballesta. Figura 5.19



Figura 5.19 Radiografía ballesta

Fuente: Laboratorio de END

Revelado de la radiografía. Figura 5.20

Se procede a llevar la película al cuarto de revelado para pasarla por cuatro líquidos:

- 1) Revelador: 5 min
- 2) Baño de parada: 2 min
- 3) Fijador: 10 min
- 4) Lavado final: 20 min

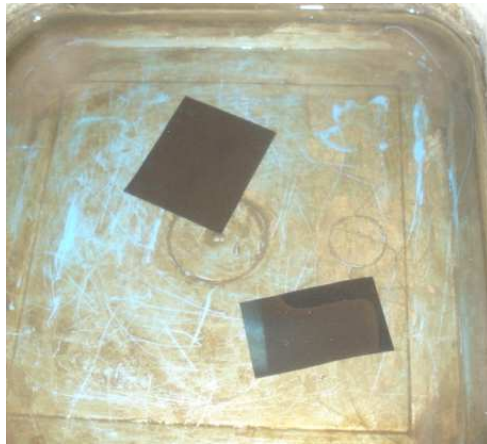


Figura 5.20 Revelado de la Película
Fuente: Laboratorio de END

5.6.5 RESULTADO

En la radiografía se pudo observar unas pequeñas porosidades en metal de aporte de la soldadura a lo largo del cordón que no interfieren en el funcionamiento de la ballesta. Figura 5.21

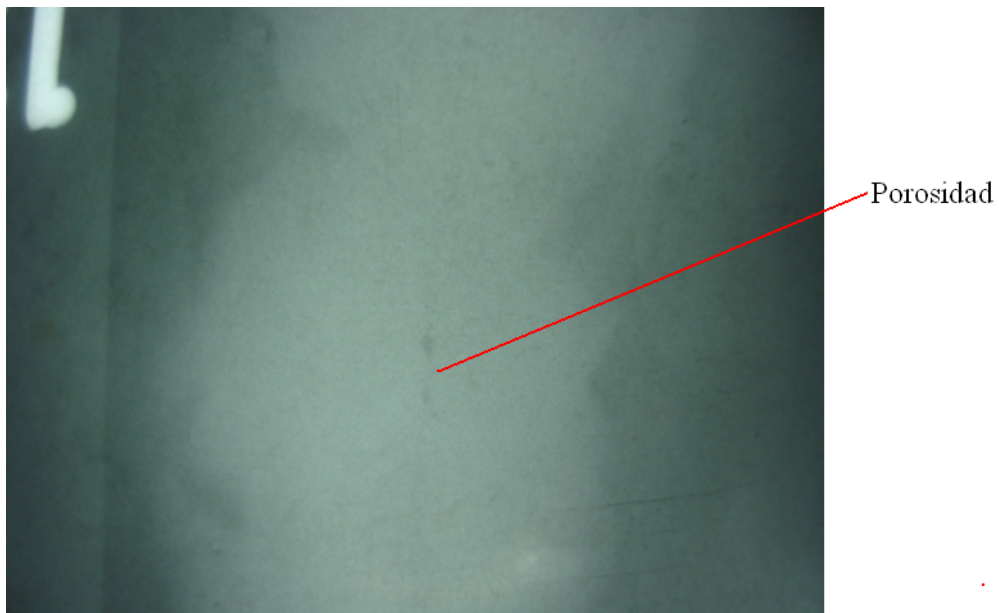


Figura 5.21 Resultado de la Radiografía
Fuente: Laboratorio de END

5.7 PRÁCTICA Nº 2

5.7.1 TITULO: LIQUIDOS PENETRANTES EN LA RUEDA DENTADA

5.7.2 OBJETIVOS:

- Aplicar los líquidos penetrantes para la inspección superficial
- Detectar discontinuidades en la rueda dentada

5.7.3 EQUIPOS

1. Tinta penetrante tipo B&C. Figura 5.22



Figura 5.22 Tinta Penetrante

Fuente: Laboratorio de END

2. Removable (thinner). Figura 5.23



Figura 5.23 thinner

Fuente: Laboratorio de END

3. Revelador acuoso. Figura 5.24



Figura 5.24 Revelador Acuosa

Fuente: Laboratorio de END

5.7.4 PROCEDIMIENTO

Limpieza de la rueda con thinner y secado

Aplicación del penetrante (tiempo de acuerdo a especificaciones del fabricante, 5 min) Figura 5.25



Figura 5.25 Aplicación del Líquido

Fuente: Laboratorio de END

Remoción del exceso del líquido penetrante de la superficie

Aplicación del revelador (suspensión acuosa) Figura 5.26



Figura 5.26 Aplicación del Revelador Acuoso

Fuente: Laboratorio de END

5.7.5 RESULTADO

En el ensayo se pudo observar porosidad y fisura debido a la falta de un buen maquinado de la rueda estas fallas se las pueden arreglar con el buen maquinado del material. Figura 5.27

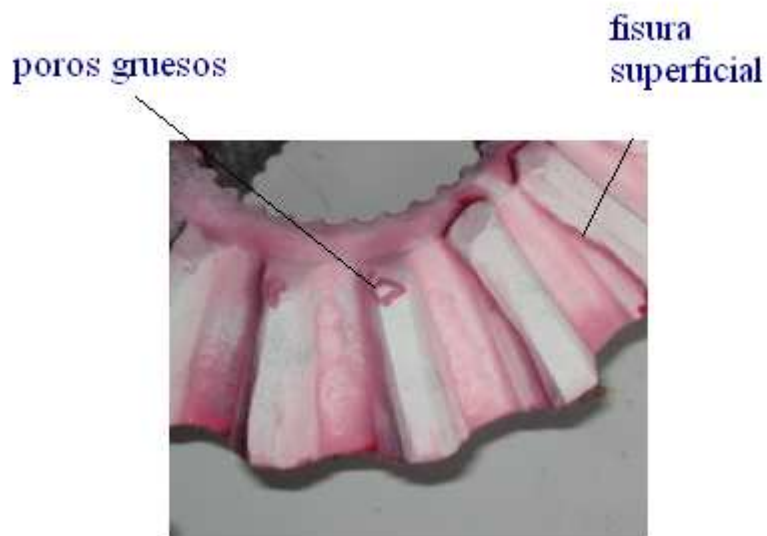


Figura 5.27 Resultado del Ensayo

Fuente: Laboratorio de END

5.8 PRÁCTICA Nº 3

5.8.1 TITULO: RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL DEL EJE DE TRANSMISIÓN

5.8.2 OBJETIVOS:

- Determinar la calidad de soldadura
- Determinar la calidad radiográfica del eje de transmisión
- Interpretar la radiografía y evaluar las posibles fallas

5.8.3 EQUIPOS

- Máquina de rayos X

5.8.4 PROCEDIMIENTO

- Se midió el espesor de la junta soldada(15mm) para es coger el tamaño de la película

Datos Tabla 5.4

DENSIDAD		PELICULA		DISTANCIA	
N = 1	T x 1	Gevaert	Structurix	35 cm (14")	Tx0,25
N = 1,5	T x 1,6	D10 Tx1	D7 Tx1	50 cm (20")	Tx0,5
N = 2	T x 2,2	D7 Tx4	D4 Tx3,7	70 cm (27,5")	Tx1
N = 2,5	T x 3	D4 Tx15	D2 Tx15	100 cm (40")	Tx2
		A	B	140 cm (55")	Tx4
				200 cm (80")	Tx8,8

Tabla 5.4 Diagrama de operación de la máquina de rayos X, laboratorio de END

Fuente: Manual de E.N.D. EPN

N= densidad= 2,2

P= película= 1,4

D= distancia= 0,5

Calculo de los parámetros Tabla 5.5

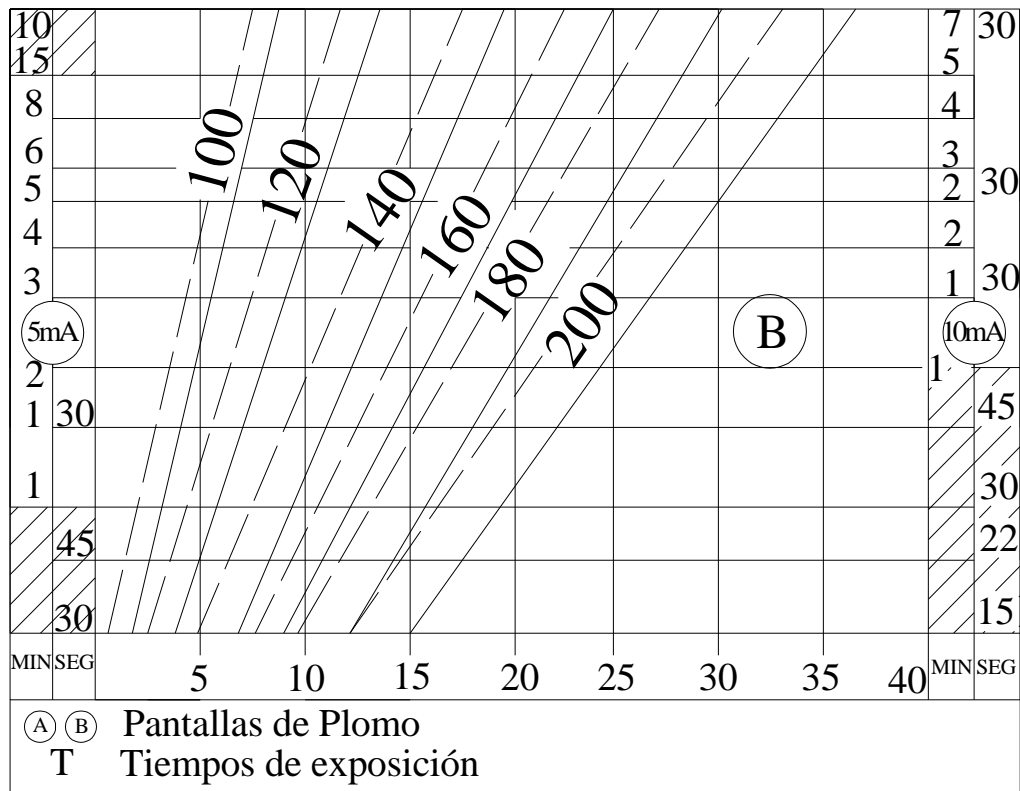


Tabla 5.5 Calculo de parámetros

Fuente: Manual de E.N.D. EPN

$$t_{\text{exp}} = t_c \cdot f_n \cdot f_p \cdot f_D \cdot f_v$$

t_{exp} = Tiempo de exposición

t_c = Tiempo de diagrama de exposición

f_n = Factor de corrección por densidad

f_p = Factor de corrección por película

f_D = Factor de corrección por distancia

f_v = Factor de corrección por varios

$$t_{\text{exp}} = 110 \times 2.2 \times 1.4 \times 0.5 \times 1$$

$$t_{\text{exp}} = 170 \text{ seg.} \quad \Longrightarrow \quad t_{\text{exp}} = 2.80 \text{ min.}$$

Recaldeo de la máquina de rayos X Figura 5.28



Figura 5.28 Recaldeo del equipo

Fuente: Laboratorio de END

En la valija de comando, llevar a cero el medidor de Kv y el de mA

$$Kv = 160$$

$$mA = 20$$

Calcular el tiempo de permanencia del equipo en el Kv de ascenso, de acuerdo con el tiempo en el que, el equipo no ha estado funcionando.

Tiempo de permanencia = 30 seg.

Tiempo de parada = 8 H – 7 días

Tiempos calculados según tabla 5.6

TIEMPO DE PARADA	TIEMPO DE PERMANENCIA HASTA LLEGAR AL KV DESEADO
1 a 8 horas	10 s
8 horas a 7 días	30 s
1 a 4 semanas	1 min
Más de un mes	2 min

Tabla 5.6 Tiempos de Recaldeo

Fuente: Manual de E.N.D. EPN

Preparación del eje de transmisión para llevarlo al equipo de rayos X. Figura 5.29



Figura 5.29 Preparación del eje de transmisión
Fuente: Laboratorio de END

Toma de la radiografía de la ballesta. Figura 5.30



Figura 5.30 Radiografía del eje de transmisión
Fuente: Laboratorio de END

Revelado de la radiografía. Figura 5.31

Se procede a llevar la película al cuarto de revelado para pasarla por cuatro líquidos:

- 1) Revelador: 5 min

- 2) Baño de parada: 2 min
- 3) Fijador: 10 min
- 4) Lavado final: 20 min

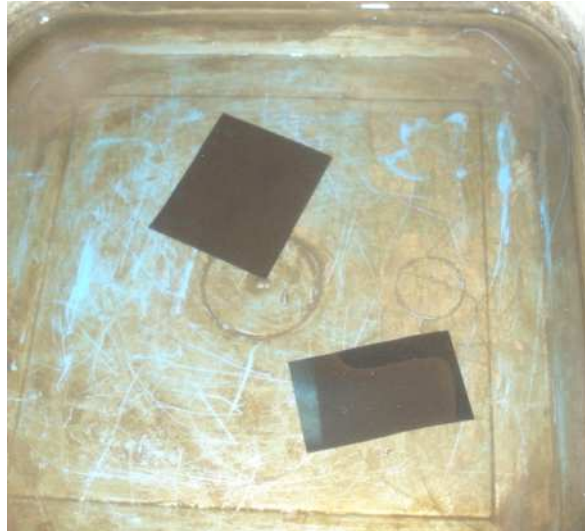


Figura 5.31 Revelado de la Película

Fuente: Laboratorio de END

5.8.5 RESULTADO

En la radiografía se pudo observar unas pequeñas porosidades en metal de aporte de la soldadura a lo largo del cordón que no interfieren en el funcionamiento de la ballesta. Figura 5.32



Figura 5.32 Resultado de la Radiografía

Fuente: Laboratorio de END

CAPITULO VI

COSTOS

6.1 APLICACIONES DEL CÁLCULO DE COSTOS

El análisis de los costos empresariales es sumamente importante, principalmente desde el punto de vista práctico, puesto que su desconocimiento puede acarrear riesgos para la empresa. Esencialmente se utiliza para realizar las siguientes tareas:

Sirve de base para calcular el precio adecuado de los productos y servicios.

Conocer qué bienes o servicios producen utilidades o pérdidas, y en que magnitud.

Se utiliza para controlar los costos reales en comparación con los costos predeterminados: (comparación entre el costo presupuestado con el costo realmente generado, post-cálculo).

Estructurar unos procesos eficientes y eficaces de distribución y servicios para los segmentos objetivos de mercado y de clientes.

Utilizar como instrumento de planificación y control.

6.2 CONCEPTO DE COSTO

Costo es el sacrificio, o esfuerzo económico que se debe realizar para lograr un objetivo.

Uno puede comprar un insumo mediante un pago en dinero (erogación), pero hasta que ese insumo no sea incorporado al producto que se elabora y luego se vende, no constituye un costo. Es un desembolso.

Hay bienes que se compran y que se utilizan en el sistema productivo, pero que no se incorporan al producto como insumo, sino que se utilizan durante un tiempo para ayudar en su elaboración. Por ejemplo: maquinarias, equipos, instalaciones, bienes de uso, etc.

La inversión es el costo que se encuentra a la espera de la actividad empresarial que permitirá con el transcurso del tiempo, conseguir el objetivo deseado.

Las inversiones en Equipos, Instalaciones, Muebles y Útiles, etc.; tendrán su incidencia en los costos mediante el cálculo de las depreciaciones que se realicen a lo largo de su vida útil.

6.3 TIPOS DE COSTOS

Es necesario clasificar los costos de acuerdo a categorías o grupos, de manera tal que posean ciertas características comunes para poder realizar los cálculos, el análisis y presentar la información que puede ser utilizada para la toma de decisiones.

1) Clasificación según la función que cumplen

A. Costo de Producción

Son los que permiten obtener determinados bienes a partir de otros, mediante el empleo de un proceso de transformación. Por ejemplo:

Costo de la materia prima y materiales que intervienen en el proceso productivo

Sueldos y cargas sociales del personal de producción.

Depreciaciones del equipo productivo.

Costo de los Servicios Públicos que intervienen en el proceso productivo.

Costo de envases y embalajes.

Costos de almacenamiento, depósito y expedición.

B. Costo de Comercialización

Es el costo que posibilita el proceso de venta de los bienes o servicios a los clientes. Por ejemplo

Sueldos y cargas sociales del personal del área comercial.

Comisiones sobre ventas.

Fletes, hasta el lugar de destino de la mercadería.

Seguros por el transporte de mercadería.

Promoción y Publicidad.

Servicios técnicos y garantías de post-ventas.

C. Costo de Administración

Son aquellos costos necesarios para la gestión del negocio. Por ejemplo:

Sueldos y cargas sociales del personal del área administrativa y general de la empresa. Honorarios pagados por servicios profesionales.

Servicios Públicos correspondientes al área administrativa.

Alquiler de oficina.

Papelería e insumos propios de la administración

D. Costo de financiación

Es el correspondiente a la obtención de fondos aplicados al negocio. Por ejemplo:

Intereses pagados por préstamos.

Comisiones y otros gastos bancarios.

Impuestos derivados de las transacciones financieras.

2) Clasificación según su grado de variabilidad

Esta clasificación es importante para la realización de estudios de planificación y control de operaciones. Está vinculado con las variaciones o no de los costos, según los niveles de actividad.

E. Costos Fijos

Son aquellos costos cuyo importe permanece constante, independiente del nivel de actividad de la empresa. Se pueden identificar y llamar como costos de "mantener la empresa abierta", de manera tal que se realice o no la producción, se venda o no la mercadería o servicio, dichos costos igual deben ser solventados por la empresa. Por ejemplo:

Alquileres

Amortizaciones o depreciaciones

Seguros

Impuestos fijos

Servicios Públicos (Luz, TE., Gas, etc.)

Sueldo y cargas sociales de encargados, supervisores, gerentes, etc.

F. Costos Variables

Son aquellos costos que varían en forma proporcional, de acuerdo al nivel de producción o actividad de la empresa. Son los costos por "producir" o "vender".

Por ejemplo:

Mano de obra directa (a destajo, por producción o por tanto).

Materias Primas directas.

Materiales e Insumos directos.

Impuestos específicos.

Envases, Embalajes y etiquetas.

Comisiones sobre ventas.

3) Clasificación según su asignación

G. Costos Directos

Son aquellos costos que se asigna directamente a una unidad de producción.

Por lo general se asimilan a los costos variables.

H. Costos Indirectos

Son aquellos que no se pueden asignar directamente a un producto o servicio, sino que se distribuyen entre las diversas unidades productivas mediante algún criterio de reparto. En la mayoría de los casos los costos indirectos son costos fijos.

4) Clasificación según su comportamiento

I. Costo Variable Unitario

Es el costo que se asigna directamente a cada unidad de producto. Comprende la unidad de cada materia prima o materiales utilizados para fabricar una unidad de producto terminado, así como la unidad de mano de obra directa, la unidad de envases y embalajes, la unidad de comisión por ventas, etc.

J. Costo Variable Total

Es el costo que resulta de multiplicar el costo variable unitario por la cantidad de productos fabricados o servicios vendidos en un período determinado; sea éste mensual, anual o cualquier otra periodicidad.

La fórmula del costo variable total es la siguiente:

$$\text{Costo Variable Total} = \text{Costo Variable Unitario} \times \text{Cantidad}$$

Para el análisis de los costos variables, se parte de los valores unitarios para llegar a los valores totales.

En los costos fijos el proceso es inverso, se parte de los costos fijos totales para llegar a los costos fijos unitarios.

K. Costo Fijo Total

Es la suma de todos los costos fijos de la empresa

L. Costo Fijo Unitario

Es el costo fijo total dividido por la cantidad de productos fabricados o servicios brindados.

$$\text{Costo fijo Unitario} = \text{Costo Fijo Total} / \text{Cantidad.}$$

M. Costo Total

Es la suma del Costo Variable más el Costo Fijo.

Se puede expresar en Valores Unitarios o en Valores Totales

$$\text{Costo Total unitario} = \text{Costo Variable unitario} + \text{Costo Fijo unitario}$$

$$\text{Costo Total} = \text{Costo Variable Total} + \text{Costo Fijo Total}$$

6.4 ESTRUCTURA DE COSTOS



6.5 ELABORACIÓN DE PRESUPUESTOS Y CONTROL DE COSTOS EN SOLDADURAS

6.5.1 COSTEO TRADICIONAL

Costo mano de obra + Costo de materias primas y consumibles + Costo de Energía = **Costo Total**

A. Costos de Mano de Obra

En el costo de mano de obra se contabiliza la cantidad de dinero que se le va a pagar a todo el personal que interviene en la obra.

Algunas veces también se consideran gastos indirectos (depreciaciones, impuestos, mantenimientos, etc).

B. Costo de Materia Prima

De acuerdo a la obra que se desarrolle, se puede tener diferentes materiales para la fabricación.

Solamente se toma el material base que se utilizará.

El costo de la M. P. dependerá de la forma, espesores, materiales, propiedades mecánicas, etc.

C. Costo del consumible

Para saber la cantidad de soldadura que va a intervenir en una obra, debemos de conocer los tipos de juntas que vamos a utilizar en todo la obra.

Finalmente tenemos que:

D. Costo de la Energía

Es muy inferior en forma porcentual a los demás costos operativos.

6.6 CÁLCULOS

Costos de producción

A. Costos de energía : $CE = V \cdot I \cdot t \cdot E / 1000$

CE= costo de la energía

V=voltaje

I =corriente

t = tiempo

E = valor de la energía

Ballesta= $(27V \cdot 110amp \cdot 0.5min \cdot 0.25USD) / 1000 = 0.37Kwh$

Rueda dentada= $(27V \cdot 110amp \cdot 0.33min \cdot 0.25USD) / 1000 = 0.24Kwh$

Eje de transmisión= $(24V \cdot 110amp \cdot 0.2min \cdot 0.25USD) / 1000 = 0.13Kwh$

B. Costos de mano de obra: $CMo = Mo \cdot H$

CMo= costo mano de obra

Mo= valor mano de obra

H= horas trabajadas

CMo= $8\$ \cdot 1.49 h = 11.92 \$$

C. Costos de soldadura: $Cs = V \cdot H$

Cs = Costo de soldadura

V= Valor de la soldadura

H= horas trabajadas

Cs = $2\$ \cdot 1.49h = 2.98\$$

D. Costo del consumible

$$C_c = C_s * C_g$$

C_s = Costo de soldadura

C_g = Costo del gas

C_c = Costo de consumibles

$$C_c = 2.98\$ + 0\$ = 0\$$$

E. Costos materia prima :

Electrodo E 312-16= 3 electrodos utilizados= $1.227\$/u = 3 * 1.227 = 3.681\$$,

Olímpia A= 4 electrodos utilizados= $1\$/u 4 * 1\$ = 4\$$,

Olímpia B= 5 electrodos utilizados= $1.35\$/u 5 * 1.35\$ = 6.75\$$

Total 14.431

F. Costos de tratamientos de las piezas = 20\$

G. Costos indirectos (limpieza y preparación) = 10\$

H. Costos de inspección= 8\$

I. Otros costos : 6.53\$

J. Total costo =A+B+C+D+E+F+G+H+I=74.60 \$

Valores referenciales del laboratorio de soldadura de la Facultad de Ingeniería
Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional

CAPITULO VII

7.1 CONCLUSIONES

- Este proyecto tiene por objeto la adecuada selección de un proceso de soldadura de mantenimiento para la recuperación de piezas industriales.
- La reparación de materiales mediante soldadura es muy poco conocido en el Ecuador por lo que conseguir un electrodo con las características para la reparación es un poco difícil
- Para un adecuado proceso de soldadura los electrodos deben de estar en un sitio en donde no exista humedad.
- Para determinar una correcta reparación de un material mediante soldadura debemos identificar la falla en el material para poder repararlo adecuadamente ya que si el material está muy desgastado por el uso este no se podrá reparar.
- A los materiales reparados mediante soldadura se redujo su dureza mediante tratamientos térmicos para que así el electrodo pueda realizar un óptimo trabajo.
- Los materiales reparados mediante soldadura pueden tener las mismas propiedades físicas que de un material nuevo si se lo repara con el electrodo adecuado.
- Para un adecuado proceso de soldadura, seguir los parámetros WPS
- En la industria existen gran cantidad de materiales que pueden ser reparados mediante soldadura de mantenimiento.
- Los costos de reparación de un material son mucho más bajos que los costos de un material nuevo.

7.2 RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos metalográficos para conocer la composición del material a se reparado.
- Realizar una Especificación del Proceso de Soldadura (WPS) para tener una optima soldadura de mantenimiento.
- Realizar pruebas de dureza en el material antes y después de ser reparado para evitar mal funcionamiento.
- Realizar ensayos no destructivos para verificar la calidad de la soldadura y las fallas en las mismas
- Después de la reparación del material, se debe realizar un tratamiento térmico en los materiales para recuperar su dureza inicial
- Realizar las soldaduras de reparación con los parámetros de seguridad adecuados para evitar accidentes.
- No trabajar sobre áreas mojadas o colocar material inflamable cerca donde se esté realizando la soldadura
- Someter los materiales a ser reparados a un precalentamiento para evitar fisuras producidas por el choque térmico.

7.3 BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN WELDING SOCIETY, (1996). "*Manual de Soldadura*". México. Prentize-Hall Hispanoamérica
2. CAZAUD R. (1988) "*La fatiga de los metales*". Aguilar.
3. DAVIS H. (1984). "*Ensayo e inspección de materiales en ingeniería*". C. E. C. S. A.
4. ERAZO MIGUEL, (1999). "*Seminario de Soldadura de Mantenimiento*". EPN.
5. FLINN S. H. y TROJAN P. K. (1991). "*Materiales de ingeniería y sus aplicaciones*". 3ª Ed. Mc Graw Hill.
6. HORWITZ HENDRY, (1997) "*Soldadura: Aplicación y Práctica*". Ed. Alfaomega. México
7. KAU SINDO, "*Welding Metallurgy*"
8. LINCOLN ELECTRIC, "*Hardfacing Product Catalog*"
9. MESSER GRIESHEIM, "*Aleaciones especiales para la soldadura de mantenimiento y reparaciones*".
10. SARKAR A. D. (1990) "*Desgaste de metales*". Noriega. Limusa.
11. WEST J. M. (1986). "*Corrosión y oxidación*". Limusa.
12. <http://www.asme-ipti.org/public/PagQQMKW534322333.aspx>
13. www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/.../15327133-138.pdf
14. <http://www.espatentes.com/B23/2291990.html>
15. <http://products.esab.com/Templates/T087.asp?id=58098>
16. <http://www.block.cl/metales.htm>
17. <http://www.westarco.com/InfoTecnica/Sist.%20Clas.%20Electrodos%20AWS.pdf>
18. http://infra.com.mx/servicio_atencion/libreria/eisa/documentos/manual_electrodos/aceros_inox.pdf

ANEXOS

a) TABLA DE RECUBRIMIENTOS DUROS

ESAB WEAR ARC	DUREZA	APLICACIÓN PRINCIPAL	USOS Y CARACTERÍSTICAS	COMPOSICION QUÍMICA TÍPICA					
	Dos capas sobre acero 1020			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
3IP	29 Rc	Reconstrucción	Puede ser aplicado sobre aceros al Carbono y aceros de baja aleación, proporciona excelente resistencia al desgaste causado por impacto y compresión. Es utilizado sobre ejes, cuellos, terminales de rodillos de laminación y martillos de forja.	0.2	0.9	0.7	2.3	--	1.1
4IP	54 – 56 Rc	Revestimiento	Aplicable sobre aceros al Carbono y aceros de baja aleación, resistente a la abrasión e impacto, puede ser utilizado en pernos de cangilones, bordes de cucharones de dragas, engranes de palas, poleas de cables, rodillos zanjadores, talones de aguilón de plata, etc	0.4	0.9	1.3	2.2	--	1.0
5IP	58 – 60 Rc	Revestimiento	Puede utilizarse sobre aceros al Carbono y aceros de baja aleación, sus depósitos son resistentes a la abrasión y alto impacto Es aplicado sobre cucharones de palas excavadoras muñones de cuchillas niveladoras, pernos de cucharones, impulsores de bombas para lodos, pernos de cucharones.	0.6	1.0	0.8	5.7	--	0.6
6IP	56 -59 Rc	Revestimiento	Aplicable sobre aceros al carbono, aceros de baja aleación, sus depósitos son resistentes a la baja abrasión y bajo impacto.	3.0	0.8	1.8	6.5	--	--
12IP	54 – 56 Rc	Revestimiento	Para ser utilizado sobre aceros al Carbono y aceros al Manganeso (Hadfield), proporciona depósitos con excelente resistencia al impacto y a la abrasión, su elevado contenido de Cromo los hace resistentes a la corrosión. Puede ser aplicado sobre bordes de dientes, cucharones de dragas, poleas transportadoras, rodillos trituradores, impactadoras, ruedas Müller	3.5	2.7	1.8	13	--	1.0
Niquel	Sobre acero al	Reconstrucción	Aleación que puede ser utilizada para reconstruir	0.6	14	0.5	--	4.0	--

Manganeso AWSA 5.13 Clase EFeMn -A	manganeso Inicial 90 Rb Final 48 Rc		aceros al Manganeso (Hadfield), lo más conveniente para alto impacto y compresión severos. Sus depósitos endurecen con el trabajo, ideal para soldar accesorios y equipos de acero al Manganeso bajo condiciones de trabajo continuo, martillos de molinos, cadenas de draga, mandíbulas de trituradoras, cambia vías de ferrocarril. Su dureza superficial puede llegar hasta 52 Rc.						
WH	Inicial 23 Rc Final 48 Rc	Reconstrucción	Aplicable sobre aceros al Manganeso (Hadfield) y aceros al carbono, su alto contenido de aleación (34%) hace sus depósitos extremadamente resistentes a la deformación, pueden ser hasta cuatro veces más resistentes al desgaste que los aceros al Manganeso endurecidos por el trabajo. Su dureza superficial puede llegar hasta 52 Rc.	0.4	4.2	0.8	20	10	--
ESAB 40	60 Rc	Revestimiento	Aleación compuesta por Carburos de Cromo en una matriz ferrosa, lo cual la hace altamente resistente a la abrasión, con la ventaja de conservar su resistencia al desgaste hasta 540°C (1000 °F). Soporta impacto moderado. Puede ser aplicada en guías de trefilación, martillos de molino, cuchillas cañeras, equipo agrícola y de movimiento de tierras	4.0	1.9	1.1	34	--	--

b) TABLA DE ACEROS FUNDIDOS

ESAB (Clasificación AWS)	ACABADO	USOS Y APLICACIONES	COMPOSICION QUÍMICA			
			C	Mn	Si	Ni
Arcaloy 99 (Eni-Cl) A5.15	Totalmente maquinable	Electrodo para soldar hierro colado gris, maleable o nodular cuando se pretende máxima maquinabilidad. Proporciona un arco suave y estable que permite trabajar con Corriente Directa y Corriente Alterna. Su depósito de a Níquel es resistente al agrietamiento y su escoria es de fácil remoción	0.2	0.5	0.1	88

Arcaloy 550 (EniFe-CI-A) A5.15	Maquinable	Electrodo que deposita material resistente al agrietamiento, libre de poros y defectos sobre la mayoría de las piezas de hierro colado. Su revestimiento con mayor resistencia al sobrecalentamiento, permite máxima productividad y eficiencia durante su operación.	1.7	0.6	0.6	55
All State 6 (ESt) A5.15	No maquinable	Electrodo diseñado especialmente para la soldadura de hierros colados viejos, sucios o con ligera contaminación superficial donde la maquinabilidad no sea un factor esencial. Sus depósitos pueden ser utilizados como base para otros electrodos de características maquinables.	0.2	0.6	0.2	--

c) TABLA DE ELECTRODOS ESPECIALES

ESAB ALL STATE (Clasificación AWS)	ALEACIÓN PRINCIPAL	CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES	PROPIEDADES Resistencia Tensil, Elongación y Dureza
16 (ENiCu-7) A5.11	Níquel	Electrodo diseñado para aplicaciones críticas, arco suave y estable. Utilizado principalmente en aceros al carbono, acero Cobre y aleaciones de Cobre - Níquel	RT = 75,000 psi. E = 30% Dureza = 125-150 Brinell
18 (EMCrFe-3) A5.11	Níquel	Electrodo que deposita una aleación a base de Níquel, con excelentes propiedades para resistir oxidación a temperaturas elevadas o impacto a temperaturas. Puede utilizarse para unir Inconel 600.601 y 690, así como combinaciones de aceros inoxidable y aceros de baja aleación.	RT-85,000 psi. E = 35% Dureza = 170-220 Brinell
Ultra 275	Acero de alta aleación	Es el electrodo más indicado para unir aceros disímiles o de composición química desconocida. Sus depósitos son perfectamente maquinables y endurecen con el trabajo mecánico no son magnéticos y no responden a tratamiento térmico. Puede ser aplicados en aceros para resortes, muelles de automóviles, dientes de engrane, flechas, piezas de acero al Manganeso.	RT = 120,000 psi. E = 25% Dureza = 200 Brinell
34 (E4043) A5.3	Aluminio	Electrodo que encuentra su principal aplicación en la soldadura de piezas de fundición de aluminio, ya sea para reparación de fisuras o defectos. Puede realizar uniones sanas en placas con espesor mayor a 1/8". Muy utilizado en áreas de mantenimiento	RT = 34,000 psi

d) TABLA DE MICROALAMBRES PARA SOLDAR ACEROS INOXIDABLES

ARCALOY MIG (Clasificación AWS)	USOS Y CARACTERÍSTICAS
ER308L (ER308L) A5.9	<p>Materiales utilizados en la soldadura de los aceros inoxidables con el proceso MIG (GMAW), obteniendo las mismas propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión que con los procesos convencionales, pero con la gran ventaja de mayor rapidez en la ejecución.</p> <p>Al realizar soldaduras con estos alambres es necesaria la utilización de gas de protección, siendo el Argón o algunas mezclas con alto porcentaje de Argón los más empleados.</p> <p>Estos productos encuentran aplicación en diversas industrias, para la fabricación y mantenimiento en componentes de equipos para : elaboración de alimentos, vinícola, cervecera, fabricación de cemento, contenedores de ácidos y álcalis, industria papelera, fabricación de equipo de transporte, etc.</p>
ER308L Si (ER308L Si) A5.9	
309L (ER309L) A5.9	
309L Si (ER309L Si) A5.9	
ER316L (ER316L) A5.9	
ER316 Si (ER316L Si) A5.9	
ER310 (ER310) A5.9	
ER347 (ER347) A5.9	

e) TABLA DE ELECTRODOS PARA ACEROS INOXIDABLES

ARCALOY TIG (Clasificación AWS)	USOS Y CARACTERÍSTICAS
308L (ER308L) A5.9	<p>Varillas utilizadas en la soldadura de los aceros inoxidables con el proceso TIG (GTAW), donde es muy importante obtener al máximo las propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión del acero inoxidable, pasando a segundo término el tiempo de ejecución de la unión.</p> <p>Al utilizar estas varillas es imprescindible el uso de gas de protección, normalmente gas Argón. Es recomendable para la ejecución de algunos trabajos sobre tubería, emplear el método conocido como "camareo" al interior del tubo.</p> <p>Su campo de aplicación es amplio, y el alto grado de especialización del personal que ejecuta la soldadura hace que estos materiales encuentren su uso principal en el montaje y mantenimiento de diversos componentes en: industria de elaboración de alimentos y productos de consumo humano, refinación de petróleo, plantas de generación de energía eléctrica, sistemas de bombeo de fluidos.</p>
309L (ER309L) A5.9	
316L (ER316L) A5.9	
310 (ER310) A5.9	
312 (ER3012) A5.9	
347 (ER347) A5.9	




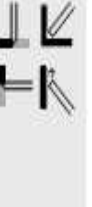

f) TABLA DE MICROALAMBRES Y APORTES DE ALUMINIO (ALCOTEC)

ALCOTEC (Clasificación AWS)	USOS Y CARACTERÍSTICAS
1100 (ER1100) A5.10	<p>Alambres para proceso MIG y varillas de aporte para proceso TIG, fabricados bajo los más estrictos estándares de calidad, en una amplia variedad de aleaciones que cubren las necesidades técnicas de mayor actualidad.</p> <p>El Aluminio puro y sus aleaciones encuentran aplicación en una gran variedad de campos de la industria: fabricación de aviones, industria naval, fabricación de partes de automóviles e industria de transporte en general, fabricación de bicicletas, equipo en terminales de distribución de energía eléctrica, carcasas de bombas, equipo de refrigeración, etc.</p> <p>Al soldar Aluminio con los procesos MIG y TIG, es imprescindible la utilización de gas de protección. El Argón y el Helio puros, o combinados entre ellos, son los gases más apropiados para la soldadura de este metal.</p>
1188 (ER1188) A5.10	
4043 (ER4043) A5.10	
4047 (ER4047) A5.10	
5183 (ER5183) A5.10	
5356 (ER5356)	

g) TABLA DE ELECTRODOS DE CARBÓN

DIMENSIONES	USOS Y CARACTERÍSTICAS
5/32" x 12"	<p>Electrodos diseñados para cortar, perforar, remover metal y hacer biseles, por medio de la concentración de energía generada por un arco eléctrico y el flujo de aire comprimido a alta presión.</p> <p>Estos electrodos encuentran su aplicación principal en el corte y limpieza de uniones sobre aceros al Carbono y aceros de baja aleación</p>
3/16" x 12"	
1/4" x 12"	
5/16" x 12"	
3/8" x 12"	
1/2" x 12"	

h) TABLA DE ELECTRODOS PARA RECUBRIMIENTOS DUROS

NOMBRE Y CLASIFICACION	CARACTERISTICAS Y APLICACIONES	ANALISIS TÍPICO DE METAL DEPOSITADO	PROPIEDADES FÍSICAS DE METAL DEPOSITADO VALORES TÍPICOS	CARACT. OPERATIVAS	POSICION DE SOLDADURA
Recubrimientos Duros					
CONARCROM 350 DIN 8555 E1-350 (rutílico)	Apto para combatir el rozamiento intermetálico, deja un depósito mecanizable con herramientas de aceros rápidos. Aplicables en la reconstrucción de piezas de orugas, engranajes de trapiches, rodillos de apoyo de homos de clinquerización, etc.	C: 0,20 % Mn: 0,65 % Cr: 1,20 % Si: 0,50 %	Dureza (HB) = (+) Nº capa Ac. 1010 1045 ~ 1 245 275 2 300 310 3 350 370		
CONARCROM 450 DIN 8555 E1-45 (básico)	Electrodo con revestimiento básico. Óptima combinación de resistencia al aplastamiento, tenacidad y resistencia al desgaste en servicio severo de rozamiento metal contra metal sin lubricación. No apto para acero Hadfield de alto Mn. Depósito de cualquier espesor y número de capas.	C: 0,20 % Mn: 0,70 % Cr: 3,30 % Si: 0,50 %	Dureza (HRC) = (+) 3º capa: 45 ▼▼: Carburos sinterizados		
CONARCROM 600 DIN 8555 E6-55R (rutílico)	Electrodo que deja un depósito de estructura martensítica mecanizable con herramientas de metal duro o piedra esmeril. Apto para recargar cuchillas de niveladoras, palas de arrastre, dientes de zanjadoras, cortafrios, etc.	C: 0,60 % Mn: 0,50 % Cr: 7,00 % Si: 0,90 %	Dureza (HRC) = (+) 3º capa: 59 ~ ▼▼: Carburos sinterizados o piedra de amolar		
CONARCROM 650 DIN 8555 E6-60R (básico)	Indicado para servicios de mecánica liviana o pesada, con desgaste por abrasión o erosión. Conserva las propiedades a temperaturas próximas a los 650 °C. Cuchillas de cortes de materiales abrasivos (cartón, papel, tabaco o corcho) y otras herramientas de aristas cortantes o planos de lata dureza para cortar, embutir, conformar o plegar metales en frío (cuchillas, matrices, punzones).	C: 0,50 % Mn: 0,35 % Cr: 7,40 % Si: 1,20 % Mo: 0,60 % V: 0,70 %	Dureza (HRC) = (+) 3º capa: 52-62		
CONARTOOL H65 DIN 8555 E3-60 S (básico)	Reparaciones de herramientas para arranque de viruta (de torno, cepillo, etc.), cuchillas de cizallas de corte progresivo, brocas de acero al C, matrices para rebabado en frío, punzones para perforar en frío, reparación de defectos en aceros indeformables del tipo especial K.	C: 1,00 % Cr: 4,50 % Si: 0,80 % Mo: 8,20 % W: 3,00 % Nb: 2,30 % V: 1,00 %	Dureza (HRC) = (+) 3º capa: 55-65		

i) TABLA DE ELECTRODOS PARA ABRASION A ALTA TEMPERATURA

NOMBRE Y CLASIFICACION	CARACTERISTICAS Y APLICACIONES	ANALISIS TÍPICO DE METAL DEPOSITADO	PROPIEDADES FÍSICAS DE METAL DEPOSITADO VALORES TÍPICOS	CARACT. OPERATIVAS	POSICION DE SOLDADURA
➔ Abrasion a alta temperatura					
CONARCROM 1900 DIN 8555 E10-65 RZ (básico)	Se aplica en recubrimiento de partes sujetas a muy alta abrasión, con moderado impacto, hasta 550 °C. Se usa en protección de zonas de carga de campanas de alto horno, quebrantadores de sinter, etc.	C: 5,60 % Cr: 20,90 % Nb: 6,50 % Mo: 7,70 % W: 1,20 % V: 1,20 %	Dureza (HRC): 63 A 550°C: aprox. 35 HRC	= (+) ~	
CONARCO E 7724	Este electrodo tubular deposita una aleación que desarrolla muy alto grado de pulido en servicio, ideal para tornillos en industria cerámica y fábricas de ladrillos. No requiere precalentamiento al soldar sobre acero al C o de baja aleación.	C: 6,70 % Mn: 3,20 % Cr: 25,0 % Si: 3,20 % Mo: 2,00 %	Dureza (HRC): 57-60 A 600°C: aprox. 40 HRC	= (+) ~	
CONARCO E 7725	Deposita una aleación resistente a la abrasión de baja presión, con impactos moderados hasta 600°C. Electrodo tubular de muy baja dilución en primera capa. Quebrantadores de sinter, tijeras de corte en caliente, paletas mezcladoras y trituradoras de material abrasivo a elevadas temperaturas.	C: 3,70 % Mn: 0,40 % Cr: 25,0 % Si: 3,00 % Mo: 2,00 % B: 3,00 %	Dureza (HRC): 58-61 A 600°C: aprox. 40 HRC	= (+) ~	

j) TABLA DE ELECTRODOS PARA ABRASION SEVERA CON IMPACTO MODERADO

NOMBRE Y CLASIFICACION	CARACTERISTICAS Y APLICACIONES	ANALISIS TÍPICO DE METAL DEPOSITADO	PROPIEDADES FÍSICAS DE METAL DEPOSITADO VALORES TÍPICOS	CARACT. OPERATIVAS	POSICION DE SOLDADURA
➔ Abrasion severa con impacto moderado					
CONARCROM 1400 DIN 8555 E10-60 RZ (rutílico)	Resistente al desgaste por abrasión severa y al rozamiento. El depósito es autofisurable, siendo conveniente inducir la fisuración mediante un enfriamiento rápido de los cordones. Debido al alto Cr es apto para trabajar en altas temperaturas (680°C). Protección de martillos de molienda, mandíbulas, conos, camisas y rodillos para minerales duros y frágiles, además de sedimentos blandos.	C: 3,50 % Cr: 30,00 %	Dureza (HRC) 3° Capa: 58	= (+) ~	
CONARCROM 1600 DIN 8555 E10-60 RZ (básico)	Aplicaciones similares al CONARCROM 1400, con mayor duración y resistencia al impacto (siempre colocando una base de alta tenacidad). Uso en cilindros de trituración de materiales. Superficies de caída de diversos materiales, bombas centrífugas, tornillos sin fin para movimiento de materiales, etc.	C: 4,00 % Cr: 19,00 % Nb: 6,50 %	Dureza (HRC) 3° capa: 59	= (+) ~	
CONARCO E 7723	Electrodo tubular que deposita una aleación resistente a la abrasión con impacto moderado, puede aplicarse sobre aceros al Mn austeníticos y aceros al C. El revestimiento no aporta elementos aleantes. No requiere precalentamiento cuando se aplica sobre hierro fundido y acero común. Se usa en la industria minera, movimientos de tierra y construcción, trituración y canteras, dragado, agricultura y azúcar.	C: 6,40 % Mn: 0,40 % Cr: 30,00 % Si: 1,60 %	Dureza (HRC) 1° capa: 55-57 3° capa: 56-60	= (+) ~	
MOLIENDA 77 (rutílico)	Electrodo especialmente diseñado para el picado de cilindros en molinos azucareros. Esta técnica deposita partículas de elevada dureza, lográndose superficies rugosas resistentes a la abrasión y con buena resistencia a la fractura bajo cargas severas. Se reconstruyen las masas con dos técnicas, en seco o en húmedo durante la molienda.	C: 4,90 % Cr: 25,60 % Si: 3,70 %	Dureza (HRC) 1° capa s/Ac.: 55-57 3° capa s/hierro fundido: 50-60	= (+) ~	

k) TABLA DE ELECTRODOS PARA ABRASIÓN A LATA TEMPERATURA

NOMBRE Y CLASIFICACION	CARACTERISTICAS Y APLICACIONES	ANALISIS TÍPICO DE METAL DEPOSITADO	PROPIEDADES FÍSICAS DE METAL DEPOSITADO VALORES TÍPICOS	CARACT. OPERATIVAS	POSICION DE SOLDADURA
➔ Abrasion a alta temperatura					
CONARCROM 1900 DIN 8555 E10-65 RZ (básico)	Se aplica en recubrimiento de partes sujetas a muy alta abrasión, con moderado impacto, hasta 550 °C. Se usa en protección de zonas de carga de campanas de alto horno, quebrantadores de sinter, etc.	C: 5,60 % Cr: 20,90 % Nb: 6,50 % Mo: 7,70 % W: 1,20 % V: 1,20 %	Dureza (HRC): 63 A 550°C: aprox. 35 HRC	= (+) ~	
CONARCO E 7724	Este electrodo tubular deposita una aleación que desarrolla muy alto grado de pulido en servicio, ideal para tornillos en industria cerámica y fábricas de ladrillos. No requiere precalentamiento al soldar sobre acero al C o de baja aleación.	C: 6,70 % Mn: 3,20 % Cr: 25,0 % Si: 3,20 % Mo: 2,00 %	Dureza (HRC): 57-60 A 600°C: aprox. 40 HRC	= (+) ~	
CONARCO E 7725	Deposita una aleación resistente a la abrasión de baja presión, con impactos moderados hasta 600°C. Electrodo tubular de muy baja dilución en primera capa. Quebrantadores de sinter, tijeras de corte en caliente, paletas mezcladoras y trituradoras de material abrasivo a elevadas temperaturas.	C: 3,70 % Mn: 0,40 % Cr: 25,0 % Si: 3,00 % Mo: 2,00 % B: 3,00 %	Dureza (HRC): 58-61 A 600°C: aprox. 40 HRC	= (+) ~	




l) TABLA DE ELECTRODOS PARA SOLDADURA DE METALES NO FERROSOS

NOMBRE Y CLASIFICACION	CARACTERISTICAS Y APLICACIONES	ANALISIS TÍPICO DE METAL DEPOSITADO	PROPIEDADES FÍSICAS DE METAL DEPOSITADO VALORES TÍPICOS	CARACT. OPERATIVAS	POSICION DE SOLDADURA
➔ ELECTRODOS PARA LA SOLDADURA DE METALES NO FERROSOS					
NICROFE 3 AWS A5.11 E NiCrFe-3 (básico)	Esta aleación deposita un material adecuado para soldar Inconel entre sí, Inconel con aleaciones Ni/Cr/Fe (Incoloy), Monel (Ni Cu), Hastelloy B/C y aceros al C y de baja aleación. Resistente al "creep" a elevadas temperaturas, buena resistencia a la corrosión y al shock térmico. Resistente a la fisuración en caliente debido al alto contenido de Mn.	C: 0,06 % Mn: 6,30 % Cr: 14,00 % Cb: 1,50 % Fe: 7,20 % Ni: resto	Rt > 550 N/mm ² Al > 30 % ChV(-196°C) > 90J	= (+)	
NICROMO 5 AWS A5.11 E NiCrMo-5 (básico)	Soldaduras de aleaciones de composición química similar, tales como el Hastelloy B. Se emplea también para el plaquado de aceros estructurales con el fin de aumentar la resistencia a la corrosión en superficie. Construcción y reparación de herramientas que trabajan a muy alta temperatura. La dureza que se consigue, aumenta con los impactos, hasta temperaturas en las que los aceros se ablandan totalmente.	C: 0,04 % Mn: 1,00 % Cr: 16,00 % Mo: 16,80 % Fe: 6,00 % W: 3,80 % Ni: resto	Rt > 690 N/mm ² Al > 25 %	= (+)	
CONARBRONCE AWS A5.6 E CuSn-C (básico)	Electrodo que deposita un bronce fosforoso, apto para la soldadura de uniones de bronce y latones, así como de uniones disímiles de bronce con aceros al C y con hierro fundido. Recubrimiento de superficies para reducir el desgaste intermetálico, la corrosión del agua de mar y la cavitación. El metal depositado se endurece por trabajo en frío. Sobre bronce es necesario precalentar.	Sn: 7,20 % Fe: 0,25 % Cu: 92,5 %	Rt: 280-380 N/mm ² Dureza 120 HB	= (+)	

CONARCOBREAWS A5.6 ~E Cu
(básico)

Se usa para la unión y recargue de piezas de cobre electrolítico y desoxidado. Para espesores mayores a 5 mm, la pieza debe precalentarse a 600 °C.

Cu: 98,5 % Dureza
Si: 0,05 % 50 HB
Mn: 0,60 %
Fe: 0,40 %

= (+) 
OCV 
> 70 V 

CONAL

AWS A5.3 E4043

Electrodo de aluminio aleado al 5 % de Si apto para juntas de aluminio puro y aleado entre si y sus combinaciones.
Soldadura de reparaciones de defectos, grietas y rellenos en aluminio fundido debido a su amplio intervalo de fusión.

Al: 94,0 % Rt: > 150 N/mm²
Si: 5,00 %

= (+) 