

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y
FORMALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA**



**“MEJORA EN LA RECUPERACION PARA LA OPTIMIZACIÓN
DE LA VIDA ÚTIL DE CUCHARON DE 74YD³ DE UNA PALA
P&H 4100XPC”**

PRESENTADO POR:

López Pérez, Christopher Cesar Augusto

Ninacondor Narváez, Christian Ricardo

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREQUIPA-PERU
2017

*“La gratitud crea en nosotros delicadeza y sensibilidad para valorar todo
el bien que nos sucede”*

¡Gracias a DIOS por la vida, que me ha dado tanto!...

*Unos padres ejemplares y tres grandes hermanos quienes llenan
mi espíritu de amor y hacen fácil mi caminar*

Christian



*“El éxito de la vida no está en vencer siempre, sino en no darse por
vencido nunca”*

*Gracias a Dios que siempre me protege y guía, a mis padres que
son mi apoyo, a mis hermanos que siempre me acompañan y me
aconsejan, a todas las personas que me dieron aliento para
concluir mi carrera*

Christopher

INDICE

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO I FUNDAMENTACION DEL PROYECTO 14

1.1 Determinación del Problema..... 14

1.2 Justificación 14

1.3 Delimitación del Proyecto 14

1.4 Objetivo General..... 14

1.5 Objetivos Específicos 15

1.6 Antecedentes..... 15

1.6.1 Antecedentes investigativos..... 15

1.6.2 Antecedentes en el área 17

CAPITULO II MARCO TEORICO 20

2.1 Pala Eléctrica P&H 4100 XPC 20

2.1.1 Componentes..... 21

2.1.2 Sistemas de la maquina 22

2.2 Cucharón P&H Optima 74 yd3..... 24

2.2.1 Cucharón curvo..... 26

2.2.2 Rendimiento del cucharón..... 26

2.2.3 Elementos de desgaste..... 29

2.2.4 Áreas de desgaste principal 30

2.3 Análisis de Modo Fallas y Efectos 33

2.3.1 Beneficios..... 34

2.3.2 Tipos de AMFE..... 34

2.4 Ensayos destructivos 35

2.4.1 Dureza..... 35

2.5 Ensayos metalográficos..... 37

2.5.1 Extracción de la muestra..... 38

2.6 Ensayo de impacto 39

2.7 Tratamientos térmicos del acero..... 41

2.7.1 Temple 42

2.7.2 Revenido 43

2.7.3 Microconstituyentes del acero..... 43

CAPITULO III ANALISIS DE DESGASTE DE CUCHARON..... 45

3.1 Análisis de cucharón..... 48

3.2	Análisis de punta nueva	51
3.3	Análisis de punta reparada	54
3.4	Análisis de punta reparada y tratada térmicamente.....	56
	CAPITULO IV AMFE PARA EL CUCHARON.....	59
4.1	Índices de evaluación	59
	a) Índice de Gravedad (G).....	59
	b) Índice de Ocurrencia (O).....	59
	c) Índice de Detección (D).....	59
	d) Criterios para el cálculo del número de prioridad de riesgo.....	59
4.2	Desarrollo de Análisis de Modo y Efecto de Falla.....	60
4.3	Resumen del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE).....	70
	CAPITULO V RECUPERACION DE PUNTA POR SOLDADURA....	72
5.1	Material a recuperar.....	72
5.2	Material de aporte.....	73
5.3	Consideraciones generales	74
5.4	Procedimiento.....	74
	5.4.1 Verificación de herramientas e insumos.....	74
	5.4.2 Pre calentamiento	75
	5.4.3 Soldadura.....	76
	5.4.4 Enfriamiento	76
	5.4.5 Verificación de la soldadura	77
	CAPITULO VI ENSAYO DE MATERIALES	78
6.1	Procedimiento de ensayos.....	78
	6.1.1 Dureza.....	78
	6.1.2 Metalografía	82
	6.1.3 Ensayo de Charpy.....	88
	CAPITULO VII TEMPLADO Y REVENIDO DE PUNTA RECONSTRUIDA.....	93
7.1	Material a templar y revenir	93
7.2	Consideraciones generales de templado.....	93
	7.2.1 Medio de temple.....	93
	7.2.2 Control del aceite	94
	7.2.3 Sección de la pieza	94
	7.2.4 Duración de templado	94
	7.2.5 Dureza obtenida aproximada	95

7.3 Consideraciones generales de revenido.....	95
7.3.1 Variables que afectan la microestructura y propiedades mecánicas	96
7.3.2 Temperatura de revenido	96
7.3.3 Tiempo de revenido.....	96
7.3.4 Velocidad de enfriamiento.....	96
7.3.5 Contenido de carbono	96
7.4 Procedimiento de templado	97
7.4.1 Verificación de herramientas y materiales.....	97
7.4.2 Calentamiento de pieza soldada	98
7.4.3 Enfriamiento en aceite.....	99
7.4.4 Comprobación de dureza	100
7.5 Procedimiento de revenido	101
7.5.1 Calentamiento de pieza soldada	101
7.5.2 Enfriamiento a temperatura ambiente	102
7.6 Tratamientos térmicos en probeta de prueba	103
7.6.1 Prueba 1.....	103
7.6.2 Prueba 2.....	104
7.6.3 Prueba 3.....	105
CAPITULO VIII RESULTADOS.....	106
8.1 Ensayo de dureza	106
8.1.1 Material de fabricante.....	106
8.1.2 Material soldado.....	107
8.1.3 Material tratado	108
8.1.4 Resumen.....	109
8.2 Ensayo metalográfico	109
8.2.1 Material del fabricante.....	109
8.2.2 Material soldado.....	110
8.2.3 Material tratado	111
8.2.4 Resumen.....	112
8.3 Ensayo de charpy	112
8.3.1 Material de fabricante.....	112
8.3.2 Material Soldado	114
8.3.3 Material tratado	115
8.3.4 Resumen.....	116
8.4 Análisis de zona de ruptura	117

8.4.1	Material de fabricante	118
8.4.2	Material soldado	119
8.4.3	Material tratado	120
8.4.4	Causas comunes de fracturas dúctiles y frágiles	121
CAPITULO IX EVALUACION ECONOMICA.....		122
9.1	Costos de instalación puntas nuevas	122
9.2	Costo de reparación de punta.....	123
9.2.1	Costo de recuperación por soldadura	123
9.2.2	Costo tratamiento térmico de punta	124
9.2.3	Costo final de reparación y tratamiento de punta 85SV2RMX.....	125
9.3	Comparación de costos punta nueva/punta reparada con tratamiento térmico	126
CAPITULO X PARAMETROS DE VIDA UTIL DE CUCHARON.....		127
10.1	KPIs.....	127
CONCLUSIONES		131
OBSERVACIONES.....		132
RECOMENDACIONES.....		133
BIBLIOGRAFIA		134

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases de excavación de un cucharón de pala eléctrica	16
Figura 2. Recuperación de cucharón mediante soldadura	18
Figura 3. Recuperación de tapa de cucharón mediante soldadura	18
Figura 4. Soldadura de planchas de desgaste de cucharón	19
Figura 5. Pala Eléctrica P&H 4100 XPC.....	20
Figura 6. Componentes P&H 4100 XPC	21
Figura 7. Componentes cucharón	22
Figura 8. Partes de cucharón	25
Figura 9. Cucharón curvo P&H.....	26
Figura 10. Capacidad de carga cucharón	28
Figura 11. Instalación de adaptador	30
Figura 12. Áreas de desgaste	30
Figura 13. Placas exteriores de desgaste reemplazables	31
Figura 14. Plancha de desgaste interior.....	32
Figura 15. Placas de revestimiento de tapa	32
Figura 16. Ensayo Rockwell	36
Figura 17. Ensayo Rockwell	37
Figura 18. Esquema de trabajo péndulo de Charpy	40
Figura 19. Esquema que muestra las diferentes etapas de un tratamiento térmico	42
Figura 20. Constante K para simulación de desgaste EDEM.....	45
Figura 21. Cucharón a analizar mediante software EDEM.....	48
Figura 22. Cucharón a analizar mediante software EDEM.....	49
Figura 23. Análisis de punta mediante software EDEM	51
Figura 24. Análisis de punta reparada mediante software EDEM	54
Figura 25. Análisis de punta reparada y tratada mediante software EDEM	56
Figura 26. Diagrama Ishikawa de cucharón	71
Figura 27. Probeta a ensayar	73
Figura 28. Máquina de soldar SMAW.....	75
Figura 29. Probeta a soldar y pirómetro	75
Figura 30. Precalentamiento de pieza	75
Figura 31. Soldeo de probeta	76
Figura 32. Probeta reconstruida mediante soldadura.....	76
Figura 33. Defectos de soldadura	77
Figura 34. Durómetro HBRVU-187.5.....	78
Figura 35. Material de fábrica para prueba de soldadura.....	79
Figura 36. Material reconstruido por soldadura para prueba de dureza.....	79
Figura 37. Material reconstruido y tratado térmicamente para prueba de dureza	80
Figura 38. Desbaste de probetas para prueba de dureza	81
Figura 39. Ensayo de dureza	81
Figura 40. Microscopio electrónico para metalografía.....	82
Figura 41. Marca y modelo microscopio electrónico para metalografía	83
Figura 42. Material de fábrica para ensayo metalográfico.....	83
Figura 43. Material reconstruido por soldadura para ensayo metalográfico	84

Figura 44. Material reconstruido y tratado térmicamente para ensayo metalográfico.....	84
Figura 45. Desbaste grueso de probetas para ensayo metalográfico	85
Figura 46. Pulido de probetas para ensayo metalográfico	87
Figura 47. Pulido de probetas para ensayo metalográfico	87
Figura 48. Ataque químico de probetas para ensayo metalográfico	88
Figura 49. Máquina de ensayo Charpy	88
Figura 50. Material de fábrica para ensayo de impacto.....	89
Figura 51. Material reconstruido por soldadura para ensayo de impacto	89
Figura 52. Material reconstruido y tratado térmicamente para ensayo de impacto	89
Figura 53. Tipos de Probeta para ensayo de impacto según norma	90
Figura 54. Probeta para ensayo Charpy	91
Figura 55. Verificación máquina de Charpy para ensayo de impacto	91
Figura 56. Medición de masa de probetas para ensayo de impacto	91
Figura 57. Probeta a ensayar para impacto	92
Figura 58. Medios para realizar templado	94
Figura 59. Contenido carbono vs dureza	97
Figura 60. Horno de calentamiento para probetas	97
Figura 61. Pinzas para manipular probetas.....	98
Figura 62. Aceite SAE 80W90 usado para templado	98
Figura 63. Calentamiento de probeta para templado	99
Figura 64. Enfriamiento en aceite para templado.....	99
Figura 65. Enfriamiento en aceite para templado.....	100
Figura 66. Lijado de probetas para verificar dureza de probeta templada	100
Figura 67. Ensayo de dureza de probeta templada.....	101
Figura 68. Probeta templada luego de ensayo de dureza	101
Figura 69. Horno de calentamiento para ensayo de revenido.....	102
Figura 70. Retiro de probeta de horno	102
Figura 71. Probeta se enfría a temperatura ambiente.....	103
Figura 72. Probeta 1 para verificación de dureza.....	103
Figura 73. Probeta 2 para verificación de dureza.....	104
Figura 74. Probetas de material de fábrica para ensayo de dureza	106
Figura 75. Probetas soldadas para ensayo de dureza	107
Figura 76. Probeta soldada y tratada térmicamente para ensayo de dureza	108
Figura 77. Estructura material de fabricante	110
Figura 78. Estructura perlítica de material de fabricante	110
Figura 79. Estructura martensítica/bainita de material de fabricante	111
Figura 80. Estructura de material tratado térmicamente	111
Figura 81. Masa de probeta de material de fábrica	112
Figura 82. Energía por fricción material de fábrica	113
Figura 83. Energía mostrada por el indicador de material de fábrica	113
Figura 84. Masa de la probeta soldada	114
Figura 85. Energía por fricciones de probeta soldada.....	114
Figura 86. Energía mostrada por el indicador de probeta soldada.....	114
Figura 87. Masa de la probeta soldada y tratada térmicamente.....	115

Figura 88. Energía por fricciones de probeta soldada y tratada térmicamente	115
Figura 89. Energía mostrada por el indicador de probeta soldada y tratada térmicamente	116
Figura 90. Ruptura de material de fabricante	118
Figura 91. Análisis de zona de ruptura de material de fabricante.....	118
Figura 92. Ruptura de material soldado	119
Figura 93. Análisis de zona de ruptura de material soldado.....	119
Figura 94. Ruptura de material soldado y tratado	120
Figura 95. Análisis de zona de ruptura de material soldado y tratado.....	120



LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1. Datos de materiales a simular en software EDEM.....	47
Gráfico 2. Diseño de partícula por software EDEM.....	48
Gráfico 3. Cucharón lleno con material mediante software EDEM.....	49
Gráfico 4. Cucharón lleno con material mediante software EDEM.....	50
Gráfico 5. Simulación de desgaste de cucharón mediante software EDEM	50
Gráfico 6. Simulación de desgaste de cucharón mediante software EDEM	51
Gráfico 7. Resultados análisis punta mediante software EDEM	52
Gráfico 8. Resultados análisis de punta mediante software EDEM	52
Gráfico 9. Simulación de partículas mediante software EDEM	53
Gráfico 10. Resultado de análisis punta reparada mediante software EDEM	54
Gráfico 11. Resultado de análisis punta reparada mediante software EDEM	55
Gráfico 12. Simulación de partículas punta reparada mediante software EDEM.....	55
Gráfico 13. Resultado de análisis punta reparada y tratada mediante software EDEM	57
Gráfico 14. Resultado de análisis punta reparada y tratada mediante software EDEM	57
Gráfico 15. Simulación de partículas punta reparada y tratada mediante software EDEM	58
Gráfico 16. Resumen número de prioridad de riesgo.....	70
Gráfico 17. Plano de indentaciones de probeta de material de fábrica	106
Gráfico 18. Plano de indentaciones de probetas soldadas	108
Gráfico 19. Plano de indentaciones de probeta soldada y tratada térmicamente	109
Gráfico 20. Costos de reparación de punta.....	124

LISTA DE TABLAS

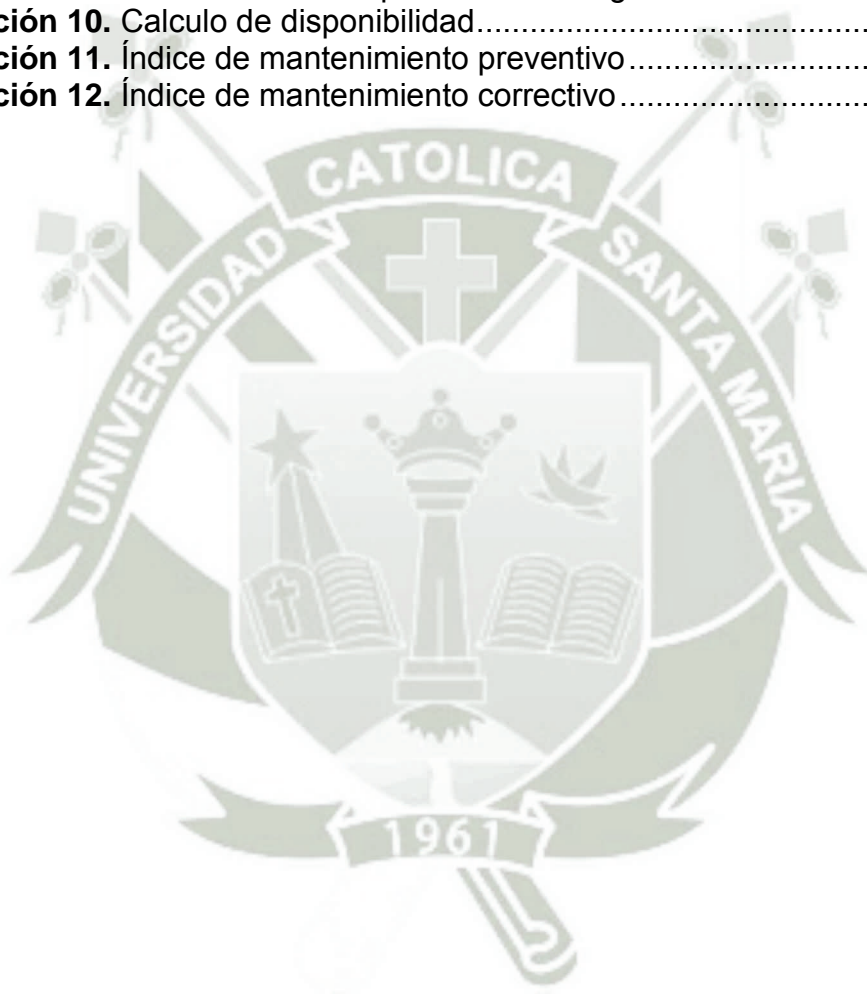
Tabla 1. Especificaciones cucharon	26
Tabla 2. Factores de llenado de balde.....	27
Tabla 3. Pesos y factores de esponjamiento materiales.....	29
Tabla 4. Propiedades de la perlita fina y gruesa.....	44
Tabla 5. Propiedades de la bainita superior e inferior.....	44
Tabla 6. Especificaciones calcopirita	47
Tabla 7. Grado de gravedad	60
Tabla 8. Ocurrencia	61
Tabla 9. Detección.....	62
Tabla 10. Desarrollo AMFE de cucharon.....	63
Tabla 11. Desarrollo AMFE de cucharon.....	64
Tabla 12. Desarrollo AMFE de cucharon.....	65
Tabla 13. Desarrollo AMFE de cucharon.....	66
Tabla 14. Desarrollo AMFE de cucharon.....	67
Tabla 15. Desarrollo AMFE de cucharon.....	68
Tabla 16. Desarrollo AMFE de cucharon.....	69
Tabla 17. Resumen de análisis modo de fallas y efectos	70
Tabla 18. Características técnicas probeta.....	72
Tabla 19. Composición química probeta	72
Tabla 20. Soldadura para aleaciones 12S Esco.....	73
Tabla 21. Socavaciones de soldadura.....	77
Tabla 22. Fuerzas empleadas en el ensayo de dureza	82
Tabla 23. Tipos de pulidos para ensayo metalográfico.....	86
Tabla 24. Tipos de aceite para templado.....	95
Tabla 25. Dureza HRC aproximada obtenida	95
Tabla 26. Durezas obtenidas de probeta 1 luego del templado.....	104
Tabla 27. Durezas obtenidas de probeta 1 luego del revenido.....	104
Tabla 28. Durezas obtenidas de probeta 2 luego del templado.....	105
Tabla 29. Durezas obtenidas de probeta 2 luego del revenido.....	105
Tabla 30. Resultados ensayo de dureza probetas de material de fábrica .	107
Tabla 31. Resultados ensayo de dureza de probetas soldadas	108
Tabla 32. Resultado de ensayo de dureza de probeta soldada y tratada térmicamente	109
Tabla 33. Resultados ensayo de Charpy material de fábrica	113
Tabla 34. Resultados ensayo de Charpy de probeta soldada	115
Tabla 35. Resultados ensayo de Charpy material soldado y tratado.....	116
Tabla 36. Costo de un sistema de puntas ESCO - Puesto en almacén Ransa (Lima).....	122
Tabla 37. Flete Lima - Arequipa SMCV	123
Tabla 38. Costo de un sistema de puntas Esco.....	123
Tabla 39. Costo de reparación de punta.....	123
Tabla 40. Costo del tratamiento térmico de una punta "Templado y Revenido" - Empresa Bohler.....	124
Tabla 41. Costo del tratamiento térmico de una punta "Templado y Revenido" - Aceros del Perú	124
Tabla 42. Costo de flete Arequipa SMCV - Lima	125

Tabla 43. Costo de flete Lima - Arequipa SMCV	125
Tabla 44. Costo total de reparación de punta	125
Tabla 45. Comparación costos y tiempo de vida útil.....	126
Tabla 46. Comparación de rendimiento de vida útil.....	126
Tabla 47. Resumen de resultados	127
Tabla 48. Indicadores de mantenimiento	130



LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Factor de llenado de cucharón	27
Ecuación 2. Coeficiente de esponjamiento	29
Ecuación 3. Carga total dureza Rockwell	36
Ecuación 4. Dureza Rockwell cono de diamante	37
Ecuación 5. Dureza Rockwell bola de acero.....	37
Ecuación 6. Energía resultante Charpy	41
Ecuación 7. Energía cinética.....	41
Ecuación 8. Ecuación Archard.....	45
Ecuación 9. Calculo número de prioridad de riesgo.....	59
Ecuación 10. Calculo de disponibilidad.....	127
Ecuación 11. Índice de mantenimiento preventivo	128
Ecuación 12. Índice de mantenimiento correctivo.....	129



RESUMEN

La pala eléctrica es una máquina de criticidad 1 en el sistema productivo de las minas del Perú; una de sus partes más importantes es el cucharón este componente es vital para que la máquina alcance una alta confiabilidad y disponibilidad. Es por eso que se identifica la necesidad de conocer las zonas más críticas del cucharón y mejorar el sistema de protección antidesgaste del mismo.

Las fisuras, problemas de revestimiento y deficiencias estructurales en el cucharón, llevan consigo paradas no programadas y menor material acarreado, lo que deriva en pérdidas económicas a la empresa minera.

En el presente proyecto se busca mejorar la protección de los revestimientos que protegen al cucharón, principalmente los elementos que protegen al labio del cucharón, ya que el labio del cucharón es una parte crítica del mismo, lo que se busca es aumentar el tiempo de vida útil de estos elementos, para lo cual se aplicó ensayos destructivos y no destructivos

Palabras claves: pala eléctrica, cucharón, labio, puntas, Escó, ensayos de materiales, dureza, metalografía, charpy

ABSTRACT

The electric shovel is a machine of criticality 1 in the productive system of the mines of Peru; One of its most important parts is the bucket, this component is vital for the machine to reach a high reliability and availability. That is why it identifies the need to know the most critical areas of the bucket and improve the anti-wear protection system.

Fissures, coating problems and structural deficiencies in the bucket take with them unscheduled stops and less material carried, which results in economic losses to the mining company.

The present project seeks to improve the protection of the coatings that protect the bucket, mainly the elements that protect the lip of the bucket, since the lip of the bucket is a critical part of it, what is sought is to increase the life time of these elements, for which destructive and non-destructive tests were applied

Key words: Electric shovel, bucket, lip, points, Esco, material testing, hardness, metallography, charpy

CAPITULO I

FUNDAMENTACION DEL PROYECTO

1.1 Determinación del Problema

La pala eléctrica es una máquina de criticidad 1 en el sistema productivo de las minas del Perú; una de sus partes más importantes es el cucharón este componente es vital para que la máquina alcance una alta confiabilidad y disponibilidad. Es por eso que se identifica la necesidad de conocer las zonas más críticas del cucharón y mejorar el sistema de protección antidesgaste del mismo. Las fisuras, problemas de revestimiento y deficiencias estructurales en el cucharón, llevan consigo paradas no programadas y menor material acarreado, lo que deriva en pérdidas económicas a la empresa minera.

1.2 Justificación

- Disminuir reparaciones mayores por soldadura en la estructura base del cucharón por elementos anti desgaste de baja calidad.
- Extender vida útil de los elementos antidesgaste y de protección del cucharón y sus partes
- Minimizar pérdidas económicas por elementos anti desgaste defectuosos o de baja vida útil.

1.3 Delimitación del Proyecto

Está limitado para cucharones de 74yd³ de una pala P&H 4100XPC el cual utiliza elementos de protección antidesgaste especialmente para labio una de las partes críticas de esta estructura.

Está limitado por la zona geográfica ya que el estudio está realizado para la mina Cerro Verde ubicada en la ciudad de Arequipa, debido a que toda mina tiene diferente composición geológica siendo diferente para cada zona.

1.4 Objetivo General

Lograr mejoras en el proceso de recuperación de un cucharón de 74yd³ de una Pala P&H 4100XPC

1.5 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis de elementos de protección de labio de cucharón para la optimización de la vida útil de cucharón de 74yd³ de una Pala P&H 4100XPC
- Establecer el área más crítica del cucharón para su análisis.
- Aplicar ensayos destructivos y no destructivos para determinar valores de dureza y tenacidad con las cuales podremos comparar y evaluar entre un material antidesgaste de fábrica y otro reconstruido
- Aplicar ensayos metalográficos para comparar la estructura cristalina entre un acero antidesgaste de fábrica y otro reconstruido.
- Simular el comportamiento, mediante software, de las puntas y del cucharón cuando son sometidos a un material abrasivo.
- Determinar parámetros que definan la mejora de vida útil

1.6 Antecedentes

1.6.1 Antecedentes investigativos

La pala eléctrica está formado básicamente por la parte superior e inferior de la máquina y el accesorio, es decir el cucharón. La pala básicamente ejecuta cuatro movimientos los cuales son: levante, empuje, giro y propulsión

El sistema de levante consiste en un tambor que es activado por un motor eléctrico. El empuje se refiere a todo los movimientos de entrada del cucharón. La excavación se produce cuando el cucharón es empujado y a la vez levando a través del banco del material

En la figura 1 se muestra las fases típicas de excavación del cucharón a través del banco. Como se ve en la figura la pala empieza a recoger material desde el punto inicial (A) hasta el pie del banco (B). Luego los dientes del cucharón atacan desde el punto B hasta el C. Al final desde el punto (C) al punto (D) el cucharón se mueve para limpiar el banco de material.¹

¹ Stavropoulou M. (2012). "Analytical model for estimation of digging forces and specific energy of cable shovel". Department of Dynamic, Tectonic and Applied Geology, Faculty of Geology and Geoenvironment, University of Athens

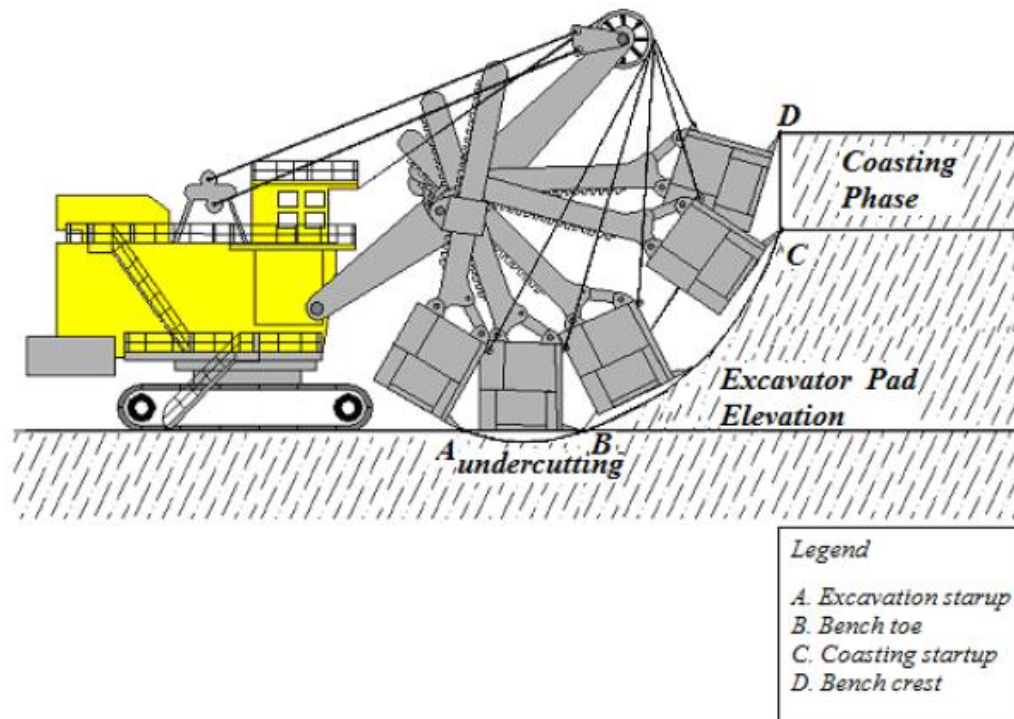


Figura 1. Fases de excavación de un cucharón de pala eléctrica

Fuente: Department of Dynamic, Tectonic and Applied Geology, Faculty of Geology and Geoenvironment, University of Athens

La preparación adecuada para la soldadura es gran parte de la labor de recuperación del cucharón. Lo primero es limpiar a fondo todos los contaminantes en la zona a ser reparada. Si no es posible hacer una limpieza total, habrá la posibilidad de que la reparación no sea exitosa. Los contaminantes son una fuente principal de agrietaciones por hidrógeno y porosidades.

Se requiere realizar ensayos no destructivos para identificar todas las agrietaciones. Los ensayos de tintes penetrantes ayudaran a ubicar y definir cualquier agrietación no visible, incluyendo la longitud total de la grieta. En esta reparaciones se utilizan electrodos de bajo contenido de hidrogeno los cuales deben ser utilizados completamente secos por que se usan hornos de retención para mantener los electrodos calientes en el sitio de la soldadura y de esa manera evitar que no entre humedad a los electrodos.

Se debe tener en cuenta el precalentamiento según el tipo de material y mantener la temperatura entre pasadas durante la soldadura. Al aplicar el precalentamiento localmente en la unión, el metal de base debe alcanzar la temperatura requerida a una distancia de al menos 3 pulgadas (76,2 mm) en cualquier dirección desde el punto de preparación de la unión. Si se aplica precalentamiento local con llamas de

gas, ya sea manualmente o con quemadores fijos, medir la temperatura en el lado calentado pasado cierto lapso después de haber quitado la fuente de calor. Una vez iniciada la soldadura, intentar completar la sección de la unión sin interrupciones. Si la grieta tiene una longitud tal que requiere repararla por intervalos, se requerirá soldar en intervalos.

Proteger la soldadura contra el enfriamiento rápido usando mantas térmicas o poscalentamiento para asegurar un periodo de enfriamiento lento y uniforme.

El material del labio es acero al manganeso ASTM 128 con 14% de contenido de Manganeso, este material no se precalienta se trabaja en frío, para la reparación de fisuras se utiliza el proceso arco aire (arcair) con electrodo de 3/8 de pulgada de \varnothing .²

1.6.2 Antecedentes en el área

En la mina Cerro Verde, se emplea cucharones de 74 yd³ en las palas P&H 4100XPC, estos cucharones son de acero cromo níquel, son recubiertas con plancha estructural A514 comercialmente usan la marca WELDOX 700, este recubrimiento se emplea en las áreas más críticas del cucharón es decir en las zonas donde el material hace contacto. Esta plancha cumple la función de resistir el impacto al que es sometida la pala

Utilizan liners del tipo HARDOX 500 estos son soldados encima del recubrimiento WELDOX 700 son elementos antidesgaste para protección del material. Los liners son cambiados cada 250 horas aproximadas.

Tanto las planchas WELDOX 700 y los liners HARDOX 500 son soldados con electrodo de bajo hidrogeno ya sea E7018 o E71T1, se realiza precalentamiento mas no un postenfriamiento, para mantener la temperatura de interpasos se utiliza un colchón térmico generalmente de cal

Realizan reconstrucción de puntas para alargar vida útil de las mismas, se utiliza acero de bajo hidrogeno. Las puntas nuevas tienen una vida útil de 24 días aproximadas al realizar una reconstrucción por soldadura pueden llegar a tener 13 días más de vida útil.

Todos los procedimientos ya sean de relleno y/o reconstrucción utilizan dos tipos de soldadura. SMAW y GMAW

² Conde M.A. (2010). "Implementación de Procedimiento de Reparación por Soldadura de Cucharones de Pala P&H 4100 de 56 Yardas Cúbicas Para la Empresa Southern Peru Toquepala". Universidad Nacional de San Agustín

Es por eso que se busca como afecta el relleno de soldadura a las puntas un elemento crítico para la protección del labio, el cual es una de las partes más críticas del cucharón.

Se pudo observar que falta adecuados tratamientos térmicos para los procedimientos de reconstrucción por soldadura ya sea de puntas y de elementos de protección de cucharón. El proceso de soldadura que se realiza en SMCV se observa en las figuras 2, 3 y 4.



Figura 2. Recuperación de cucharón mediante soldadura
Fuente: SMCV



Figura 3. Recuperación de tapa de cucharón mediante soldadura
Fuente: SMCV



Figura 4. Soldadura de planchas de desgaste de cucharón
Fuente: SMCV



CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Pala Eléctrica P&H 4100 XPC

La pala eléctrica (figura 5) es un tipo de excavadora frontal eléctrica autopropulsada, sobre orugas, que usa cables para accionar el desplazamiento del cucharón. Está diseñada para cargar material suelto o fragmentado en los camiones. Estos camiones acarrean el material a otra área para su disposición o procesamiento.

Algunos datos de esta máquina:

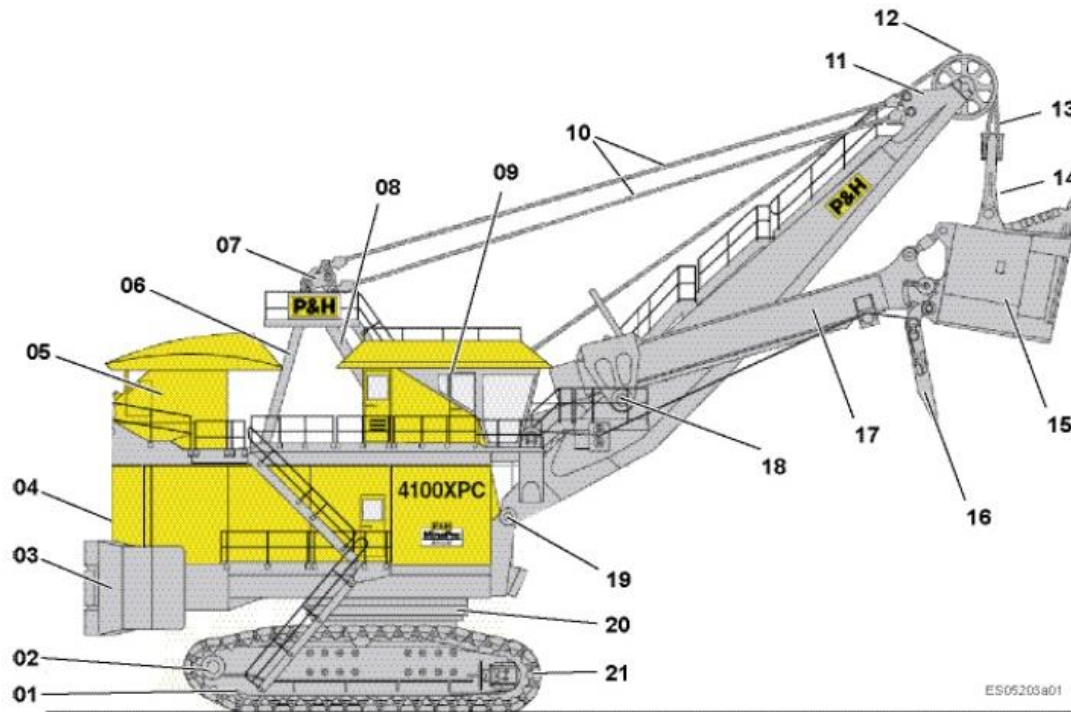
- Carga útil nominal de 73 a 82 tm (de 80 a 90 tc)
- Capacidad nominal del balde de 42 a 49 m³ (de 54 a 64 yd³)
- Ideal para camiones de carga de 218 a 327 tm (de 240 a 360 tc)



Figura 5. Pala Eléctrica P&H 4100 XPC
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=21gjZXGu21A>

2.1.1 Componentes

La máquina está conformada principalmente por las siguientes partes que se detallan en la figura 6 a continuación

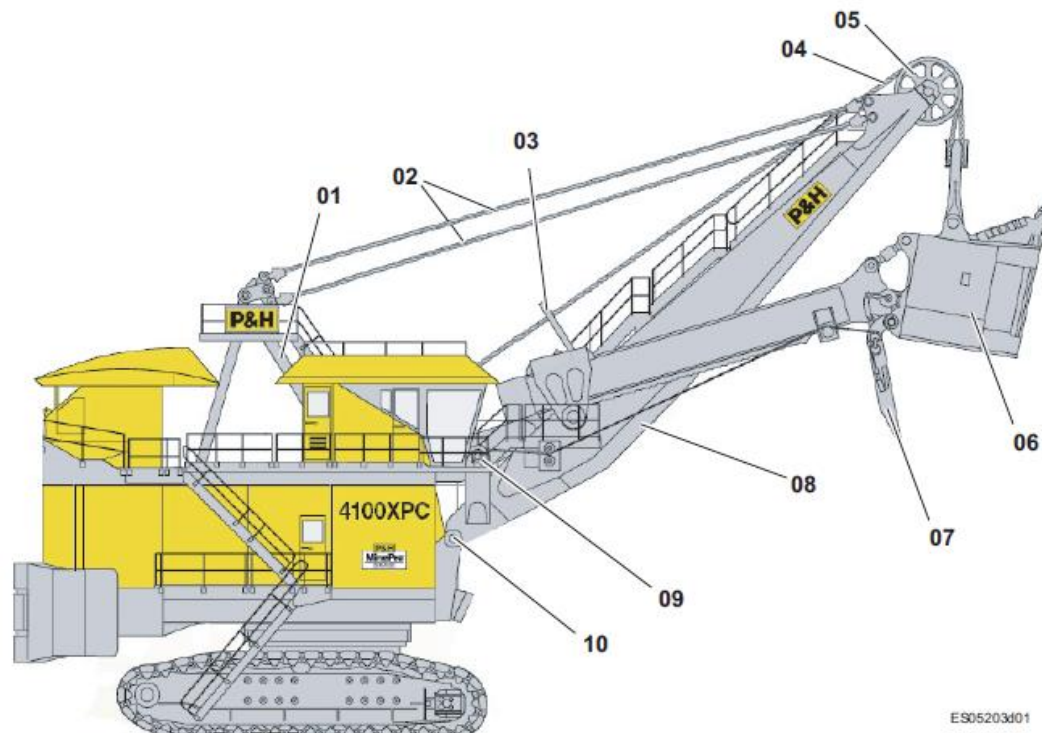


Leyenda

- | | |
|--|---|
| 01 Bastidor lateral de la oruga | 11 Ecualizadores de la punta pluma |
| 02 Mecanismo de propulsión | 12 Poleas de la punta pluma |
| 03 Contrapeso | 13 Cables de levante |
| 04 Sala de maquinas | 14 Ecualizador de los cables de levante |
| 05 Sistema de filtración/presurización de aire | 15 Cuerpo de balde |
| 06 Miembro de tensión del gantry | 16 Tapa del balde |
| 07 Ecualizadores de los cables de suspensión de la pluma | 17 Mango del balde |
| 08 Miembro de compresión del gantry | 18 Mecanismo de empuje |
| 09 Cabina del operador | 19 Pasadores de montaje de la pluma |
| 10 Cables de suspensión de pala | 20 Corona de giro |

Figura 6. Componentes P&H 4100 XPC
Fuente: Manual de mantenimiento P&H 4100 XPC

En la figura 7 se observa las principales partes que se requiere para el movimiento del cucharón



Leyenda

- | | |
|-------------------------------|--|
| 01 Gantry | 06 Balde |
| 02 Cables de suspensión | 07 Tapa del balde |
| 03 Guías de cables de levante | 08 Pluma |
| 04 Cable de levante | 09 Motor del mecanismo para abrir el balde |
| 05 Conjunto de punta pluma | 10 Pasador del talón pluma |

Figura 7. Componentes cucharón

Fuente: Manual de mantenimiento P&H 4100 XPC

2.1.2 Sistemas de la maquina

La pala eléctrica P&H 4100 XPC cuenta con los siguientes sistemas:

Sistemas eléctricos

Esta pala minera es accionada y controlada eléctricamente. Todas las funciones operativas de la pala son conducidas mediante motores eléctricos conectados a las transmisiones mecánicas.

El sistema de distribución de energía eléctrica de la mina suministra corriente alterna a la pala, mediante el cable cola el cual se conecta en la parte trasera del carbody. La alimentación del conector del cable cola en el chasis inferior se

transfiere a la tornamesa superior a través de un sistema colector de alto voltaje localizado en la plataforma de la pala. El alto voltaje proveniente de la mina se transforma en niveles operativos y se usa para suministrar los requerimientos eléctricos de la pala.

Sistema de levante

El sistema de levante consta de dos motores de CC de respuesta rápida, montados en cada extremo de la transmisión de levante en el lado izquierdo. Los motores de levante van acoplados en los ejes de los piñones de la primera reducción de la transmisión de levante, lo cual acciona la transmisión y proporciona el movimiento de levante de la pala.

En el conjunto del eje intermedio trasero va montado un sensor interruptor de límite. El objetivo del interruptor de límite es proteger contra el levante del balde al punto donde tenga contacto con las poleas de la punta de la pluma y para evitar que los cables de levante se desenrollen del tambor de levante cuando el balde esté en el suelo. Los límites de levante se controlan mediante el sistema de control Centurion y se programan a través del GUI.

Sistema de empuje

Un motor de CC acciona el sistema de empuje. Éste se encuentra montado en la pluma junto con el mecanismo de empuje. El mecanismo de empuje se encuentra alojado y firmemente asegurado sobre y dentro de la caja de engranajes de empuje, la cual es parte integral de la pluma. Un sistema de transmisión por correas, Power Band™, acopla el motor de empuje a la transmisión de empuje. Este sistema de transmisión por correas otorga protección contra choques, mientras que el mecanismo de empuje proporciona el movimiento de empuje a la pala.

Un sensor interruptor de límite va montado en el eje intermedio de la transmisión de empuje, en el lado derecho de la caja de engranajes de empuje. El objetivo del interruptor de límite es proteger contra la extensión del mango del balde demasiado lejos en dirección hacia fuera y evitar que los componentes de la pluma y del balde tengan contacto cuando el balde esté retraído. Los límites de empuje se controlan mediante el sistema de control Centurion y se programan a través del GUI.

Sistema de giro

El sistema de giro de esta pala utiliza tres transmisiones de giro, dos ubicadas al frente de la tornamesa y una ubicada atrás de la tornamesa. Un motor de giro de CC de respuesta rápida montado verticalmente, acciona cada transmisión y proporciona el movimiento de giro a la pala.

Sistema de propulsión

Para lograr los movimientos de propulsión de avance y retroceso y una dirección diferencial suave, el sistema de propulsión utiliza dos mecanismos impulsores independientes. Cada mecanismo impulsor consta de un motor de CC de propulsión, una transmisión planetaria de propulsión, un conjunto de frenos de propulsión, un eje de rueda propulsora y un conjunto de bastidor lateral y tren de orugas. Los motores de propulsión van montados sobre una base fijada al carbody de la pala. Las transmisiones de propulsión se fijan a los bastidores laterales de las orugas.

Sistema de frenos

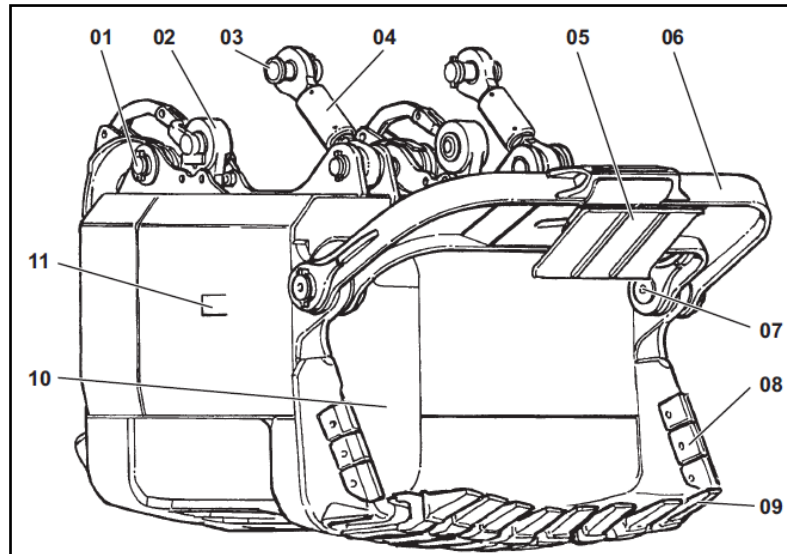
Los cuatro sistemas principales de movimiento de la pala (levante, empuje, giro y propulsión) cuentan con sistema de frenos. Todos los sistemas de frenos están diseñados y proyectados para funcionar solamente como frenos estáticos (de retención); no están diseñados ni proyectados para proporcionar la función de frenado dinámico (de parada). El frenado dinámico se logra eléctricamente a través de los controladores de los joystick del operador.

Todos los frenos son frenos de disco, los cuales son aplicados mediante.

2.2 Cucharón P&H Optima 74 yd³

El cucharón (figura 8) que fue originalmente asignado a esta pala eléctrica minera tiene una capacidad de 74 yardas cúbicas (56.6 metros cúbicos).

El cuerpo del balde está fabricado de planchas de acero de alta resistencia y con resistencia a la abrasión. El cuerpo del balde tiene excelentes propiedades de soldadura para la reparación en terreno, utilizando procedimientos de soldadura estándar.



Leyenda

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| 01 Pasador de la tapa/cuerpo | 07 Pasador del aro |
| 02 Amortiguador hidráulico | 08 Refuerzo lateral |
| 03 Pasador de tirante de ajuste | 09 Punta del diente y adaptador |
| 04 Tirante ajustable | 10 Tapa del balde |
| 05 Protección delantera contra rocas | 11 Placa de identificación |
| 06 Aro del balde | |

Figura 8. Partes de cucharón

Fuente: Manual de mantenimiento P&H 4100 XPC

El cucharón se inspecciona cada 250 horas, según el manual de mantenimiento de la pala P&H 4100XPC, se realiza las siguientes tareas:

- Inspeccionar visualmente el cuerpo del balde para detectar fisuras y desgaste estructural.
- Confirmar que los retenes de los pasadores estén en su lugar. Revisar que los pasadores y los bujes no se estén saliendo.
- Revisar los pasadores, bujes y mecanismos de tripeo para detectar desgaste excesivo. Reparar, cambiar o ajustar estos mecanismos según necesidad y de acuerdo a las especificaciones de P&H.

El cucharón tiene las siguientes especificaciones:

Tabla 1. Especificaciones cucharón
Fuente: Manual de mantenimiento P&H 4100XPC

Capacidad	Peso – lbs (kg)			
	Total (Incluyendo liners)	Cuerpo del balde (Sin liners)	Balde tapa (Sin liners)	Aro (Sin liners)
74 yd ³ (56.6 m ³)	192,224 (87,191)	116,018 (52,625)	29,277 (13,280)	21,570 (9,784)

2.2.1 Cucharón curvo

Existe una versión mejorada de los cucharones Optima de P&H el cual tiene un labio curvo, este cucharón proporciona ciertos beneficios extras

- Nos ofrece un 6% adicional de carga comparado con otros cucharones.
- Una reducción en 3.5% en el tiempo de carga.
- Una reducción de 1.4% en la energía requerida para carga.
- No cuenta con protectores laterales



Figura 9. Cucharón curvo P&H
Fuente: Manual de cucharón P&H

2.2.2 Rendimiento del cucharón

El cucharón de la pala es una herramienta compleja que usa fuerza de palanca para realizar el trabajo.

Un cucharón más grande moverá más material que uno pequeño, pero el tamaño no es lo único que determina el rendimiento real. El peso, su forma y geometría, además de la composición del material que se está extrayendo, son sólo unos de los muchos factores que afectan cuánto material puede mover el cucharón.

2.2.2.1 Facilidad de excavación del material y factores de llenado del cucharón

La facilidad de excavación (ecuación 1) se refiere a la cantidad de resistencia que presenta un material en particular al ser extraído del frente del banco.

El factor de llenado se define como la relación de yardas o metros cúbicos reales de material suelto en el cucharón, comparado con el volumen raso del cucharón.

$$\text{Factor de llenado del cucharón} = \frac{\text{Volumen de material suelto por carga}}{\text{Volumen nominal del cucharón (raso)}}$$

Ecuación 1. Factor de llenado de cucharón

Es importante fijarse que mientras los factores de llenado indican qué tan fácil fluye un material dado, el diseño y la construcción del cucharón puede mejorar o limitar sus características de llenado.

Por lo tanto, el factor de llenado para el mismo material en dos cucharones de la misma capacidad puede ser diferente. Los cucharones diseñados a especificaciones especiales que operan con materiales bien fragmentados pueden lograr factores de llenado del 100 al 120% y más.

Tabla 2. Factores de llenado de balde
Fuente: Peak Performances Baldes P&H

Facilidad de excavación	Factor aproximado de llenado del balde
Excavación fácil	1.05-1.20
Excavación media	1.00-1.15
Excavación difícil	0.90-1.00
Excavación muy difícil	0.80-0.90

Los fabricantes de palas eléctricas indican la capacidad de los cucharones en metros o yardas cúbicas “rasas” (es decir, capacidad de línea de agua). (Figura 10)

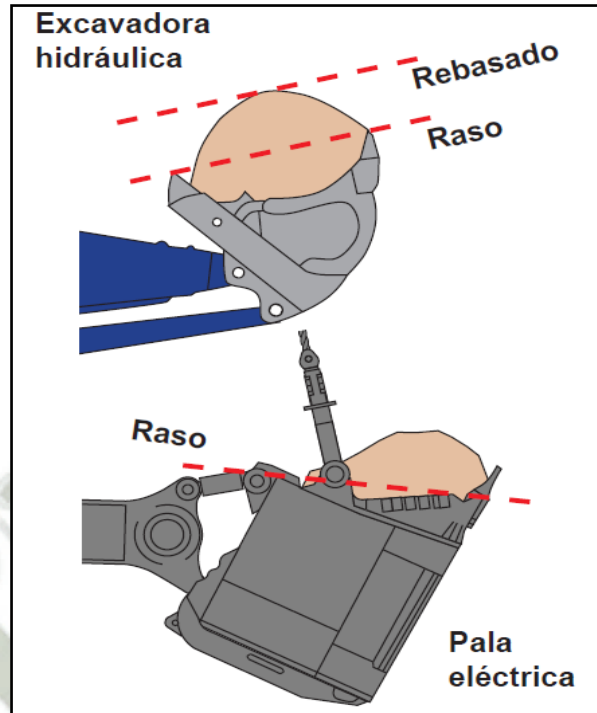


Figura 10. Capacidad de carga cucharón
Fuente: Peak Performances Baldes P&H

La excavación pesada es típica en materiales que requieren tronadura. La explosión proporciona buena fragmentación pero resulta en trozos de tal forma y tamaño que causa muchos espacios vacíos entre los fragmentos. La excavación pesada también se aplica a algunos materiales sin tronadura tales como tierra mojada, barro y arenas impregnadas de aceite.

La excavación muy pesada se aplica a materiales que requieren tronadura pesada. El material después de la explosión queda en trozos interbloqueados y finos que son difíciles de aflojar del banco.

2.2.2.2 Densidad del material

Para evaluar el rendimiento del cucharón, es necesario conocer la relación entre el volumen del material y su peso.

La densidad relativa, también llamada gravedad específica, es la razón de la densidad de una sustancia y la densidad de una sustancia estándar. El estándar normal de comparación es el agua, con una densidad de 1.0 kg por litro (62.4 lb. por pie cúbico).

La gravedad específica es más alta en piedras ricas en hierro, magnesia y metales pesados, y es más baja en materiales ricos en álcalis, sílice y agua.

El coeficiente de esponjamiento

El coeficiente de esponjamiento (ecuación 2) es la relación del peso de un volumen de material suelto sobre el peso del mismo volumen de material cuando está incrustado en el banco (Tabla 3).

$$\text{Coef. de esponjamiento} = \frac{\text{Peso en yardas cúbicas de material suelto}}{\text{Peso en yardas cúbicas del material en el banco}}$$

Ecuación 2. Coeficiente de esponjamiento

Tabla 3. Pesos y factores de esponjamiento materiales
Fuente: Peak Performances Baldes P&H

Comparación del peso y los factores de esponjamiento de algunos materiales comunes			
Material	Peso Lb. /Yd. Cubica (Banco)	Gravedad específica	Coeficiente de esponjamiento
Carbón de antracita	2200	1.31	35%
Carbón bituminoso	1900	1.13	35%
Mineral de cobre	3800	2.25	35%
Mineral de hierro	6672	3.94	25-60%
Piedra arenisca	4140	2.45	40-60%
Taconita	6210	3.68	70%

El esponjamiento se refiere al hecho de que el volumen del material aumenta o se esponja por los espacios vacíos que se introducen en el material cuando se ha explotado o cuando el cucharón lo afloja soltándolo del banco.

2.2.3 Elementos de desgaste

El labio del cucharón está protegido por piezas antidesgaste que evitan su deterioro prematuro, estas piezas son principalmente las siguientes:

- Dientes
- Wearcup
- Adaptador
- Entredientes

Ensamblajes de los dientes

Un ensamble de diente consta de un sistema de componentes interconectados que incluyen la punta del diente, el adaptador del diente, una cuña y un pasador para sostener el diente al adaptador (Figura 11).

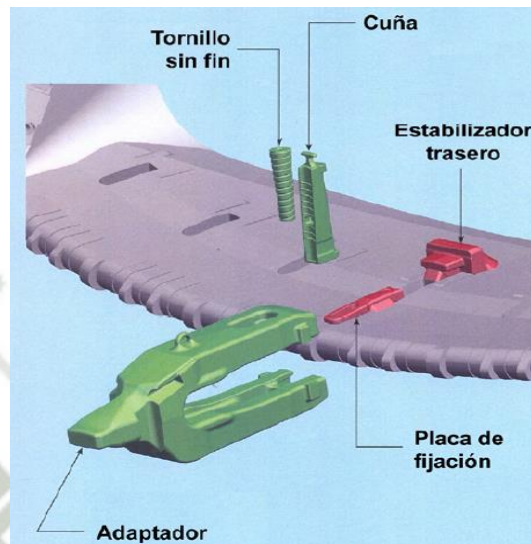
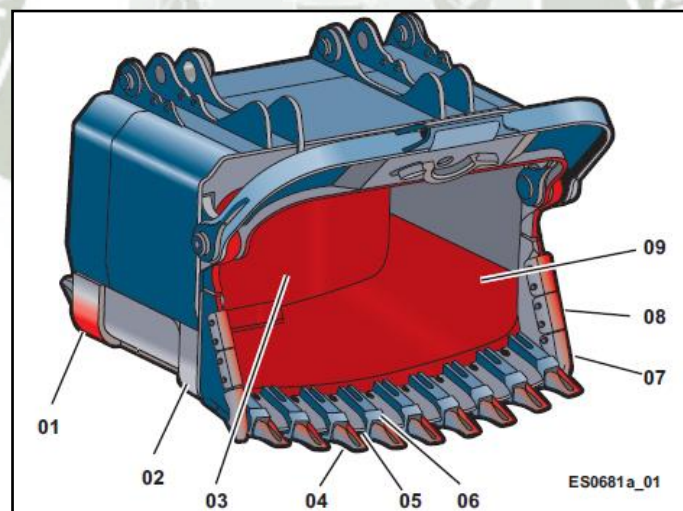


Figura 11. Instalación de adaptador
Fuente: Mantenimiento de cucharón Esco

2.2.4 Áreas de desgaste principal



- | Leyenda | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 01 Banda de talón | 05 Refuerzo del labio |
| 02 Banda superior | 06 Adaptador |
| 03 Placas de desgaste de la tapa | 07 Refuerzo de esquina |
| 04 Punta del diente | 08 Lateral y refuerzo lateral |

Figura 12. Áreas de desgaste
Fuente: Manual de mantenimiento P&H 4100XPC

Las principales áreas de desgaste se deben inspeccionar regularmente y reparar o reemplazar según necesidad según la figura 12 se muestra un balde genérico con tinte coloreado en las áreas de mayor desgaste. Éstas incluyen el borde delantero del armazón del balde, las esquinas exteriores del labio y frente y el borde delantero de los laterales de protección. Cada una de estas áreas de mayor desgaste se puede proteger con barras resistentes al desgaste o algún material fácilmente soldado.

2.2.4.1 Placa de desgaste exterior general

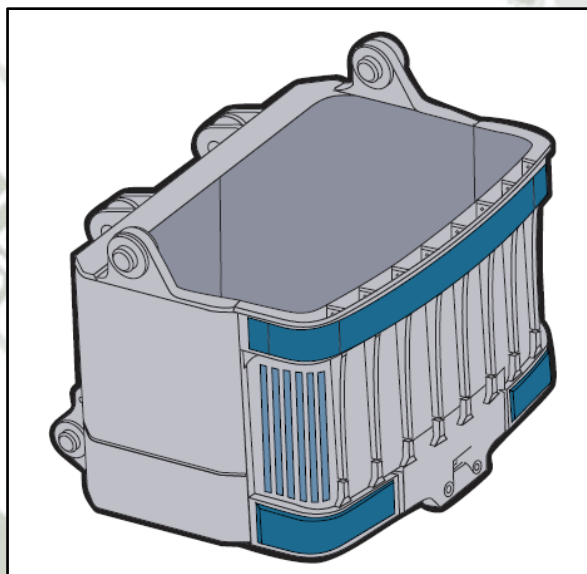


Figura 13. Placas exteriores de desgaste reemplazables
Fuente: Manual de mantenimiento P&H 4100XPC

Normalmente se instala una plancha de desgaste reemplazable en las esquinas del cuerpo del balde y la banda superior (sección rectangular debajo del labio en la mayoría de los baldes). Esta plancha sólo necesita proteger las áreas de mayor desgaste y ser lo suficientemente gruesa como para durar de una restauración de un balde a otra (vea la figura 13).

Se encuentran disponibles bandas de talón para proteger las esquinas y las secciones intermedias del talón del balde. En materiales altamente abrasivos y de alto impacto, la banda del talón se cubre con una pieza fundida o plancha gruesa reemplazable. En el caso de alta abrasión, el espesor recomendado para la banda del talón es aproximadamente de 3 a 5 pulgadas (76 a 127 mm).

En condiciones menos abrasivas, la banda del talón puede variar de una pieza o plancha pesada templada hasta una plancha de desgaste de soldadura revestida

con una capa de carburo. En muchas minas con material de alto impacto, se prefiere el uso de planchas pesadas o bandas de talón.

2.2.4.2 Revestimiento interior de desgaste

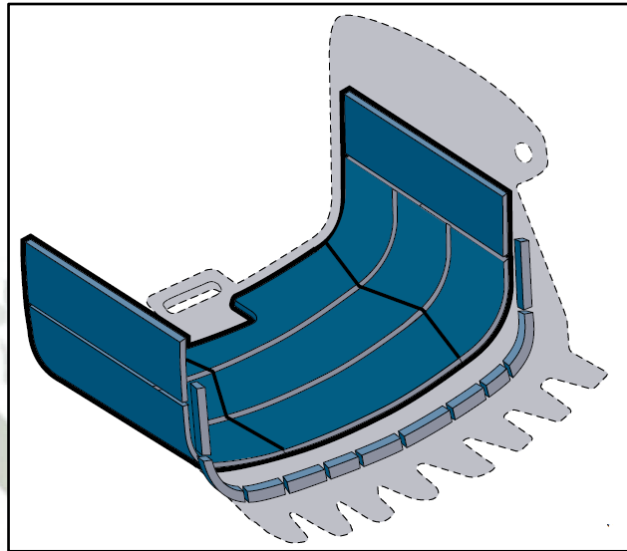


Figura 14. Plancha de desgaste interior
Fuente: Manual de mantenimiento P&H 4100XPC

Los revestimientos interiores de desgaste reemplazables, se agregan normalmente en la parte interior inferior del balde, pero la cobertura puede extenderse desde el tercio inferior hasta la parte superior del balde, dependiendo del tipo de material extraído en la mina, de su abrasividad y su nivel de impacto en el balde (figura 14).

2.2.4.3 Tapa del balde

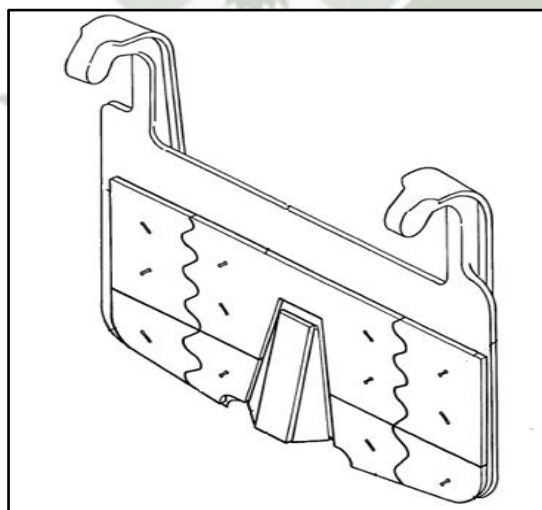


Figura 15. Placas de revestimiento de tapa
Fuente: Manual de mantenimiento P&H 4100XPC

La tapa generalmente incluye una placa de desgaste de protección (figura 15) en el área de la tapa que se arrastra a través del material extraído de la mina, cuando el balde se aleja del camión para regresar al banco. Esto normalmente cubre el tercio inferior de la tapa. Esta placa sólo necesita ser lo suficientemente gruesa para durar desde una reconstrucción a la siguiente. Todo exceso de peso incrementará las cargas sobre el amortiguador y aumentará la mantención del amortiguador. El exceso de peso también incrementa las cargas en toda la pala y reduce las velocidades de giro.

Existen diferentes grados de dureza en las placas de desgaste usadas en el interior del balde. Si el desgaste por abrasión no es un factor relevante, pero sin embargo el impacto en los revestimientos interiores es considerable, se debe utilizar una placa de aleación templada de 360 a 500 BHN. Si la excavación produce alta abrasión y alto impacto, es mejor usar una plancha de aleación templada de alta dureza.

Donde existe mayormente alta abrasión, se debe utilizar un material de soldadura con revestimiento de carburo de aproximadamente 600 BHN. Además, cuando existe una restricción por peso en el número de revestimientos interiores que se pueden utilizar, los valores superiores de dureza son mejores.

2.3 Análisis de Modo Fallas y Efectos

El Análisis de modos y efectos de fallas potenciales, AMEF, es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. Sus objetivos principales son:

- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema
- Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial
- Analizar la confiabilidad del sistema

Para hacer un AMEF se requiere lo siguiente:

- Un equipo de personas con el compromiso de mejorar la capacidad de diseño para satisfacer las necesidades del cliente.
- Diagramas esquemáticos y de bloque de cada nivel del sistema, desde subensambles hasta el sistema completo.
- Especificaciones de los componentes, lista de piezas y datos del diseño.
- Especificaciones funcionales de módulos, subensambles, etc.
- Requerimientos de manufactura y detalles de los procesos que se van a utilizar.

2.3.1 Beneficios

Los beneficios del AMFE son:

- Ayuda en la selección de alternativas durante el diseño
- Incrementa la probabilidad de que los modos de fallas potenciales y sus efectos sobre la operación del sistema sean considerados durante el diseño
- Proporciona una información adicional para ayudar en la planeación de programas de pruebas concienzudos y eficientes
- Desarrolla una lista de modos de fallas potenciales, clasificados conforme a su probable efecto sobre el cliente
- Proporciona un formato documentado abierto para recomendar acciones que reduzcan el riesgo para hacer el seguimiento de ellas
- Detecta fallas en donde son necesarias características de auto corrección o de leve protección
- Identifica los modos de fallas conocidos y potenciales que de otra manera podrían pasar desapercibidos
- Detecta fallas primarias, pero a menudo mínimas, que pueden causar ciertas fallas secundarias
- Proporciona un punto de vista fresco en la comprensión de las funciones de un sistema.

2.3.2 Tipos de AMFE

Existen dos tipos de AMFE:

- Un producto o servicio (AMFE de producto). Sirve como herramienta de optimización para su diseño.

- El proceso que permite la obtención del producto o la prestación del servicio (AMFE de proceso). Sirve como herramienta de optimización antes de su traspaso a operaciones.

En general, los dos tipos de AMFE deben ser utilizados, en una secuencia lógica, durante el proceso global de planificación.

- Una vez realizado el AMFE de producto/servicio, este pondrá de manifiesto el impacto que puede tener el proceso en la ocurrencia de fallos en aquel. Esto será el punto de partida para el análisis del proceso mediante un nuevo AMFE (AMFE de proceso).
- A veces no se puede modificar el producto/servicio ya que nos viene impuesto. En este caso, nuestro proceso de planificación sólo requeriría un AMFE del proceso productivo o de prestación.

El proceso de realización es idéntico para los dos tipos mencionados.

2.4 Ensayos destructivos

2.4.1 Dureza

Se entiende por dureza la propiedad de la capa superficial de un material de resistir la deformación elástica, plástica y destrucción, en presencia de esfuerzos de contacto locales inferidos por otro cuerpo, más duro, el cual no sufre deformaciones residuales (indentador o penetrador), de determinada forma y dimensiones.

Un análisis de la anterior definición nos lleva a las siguientes conclusiones:

- La dureza, por definición, es una propiedad de la capa superficial del material, no del material en si
- Los métodos de dureza por indentación presuponen la presencia de esfuerzos de contacto, por lo tanto la dureza puede ser cuantificada como tal.
- El indentador o penetrador no debe sufrir deformaciones residuales.

2.4.1.1 Dureza Rockwell

El método de Rockwell aunque es un método de indentación no pretende de manera directa medir la dureza a través de la determinación directa de la magnitud de los esfuerzos de contacto, sino que la define como un número arbitrario, inversamente proporcional a la penetración del indentador.

El estándar ASTM E 18-03 define la dureza Rockwell como un método de ensayo por indentación por el cual, con el uso de una máquina calibrada, se fuerza un indentador cónico esferoidal de diamante (penetrador de diamante), o una bola de acero endurecido (acero o carburo de tungsteno), bajo condiciones específicas contra la superficie del material a ser ensayado, en dos operaciones, y se mide la profundidad permanente de la impresión bajo condiciones específicas de carga. El estándar ASTM E18-03 define el número de dureza Rockwell como un número derivado del incremento neto en la profundidad del indentador cuando la fuerza en el indentador es incrementada desde una fuerza previa (preliminar específica) hasta una fuerza total (específica) y luego retornada al valor de fuerza previa.

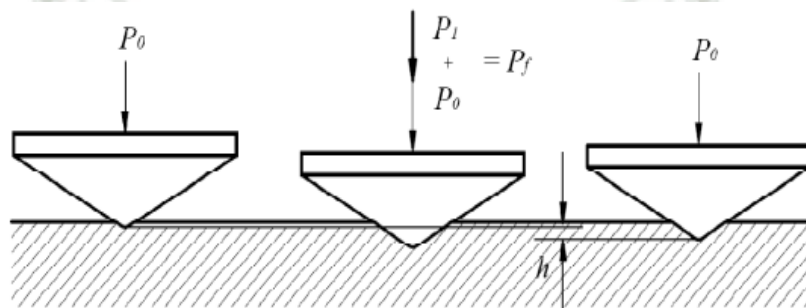


Figura 16. Ensayo Rockwell

Fuente: <http://www.utp.edu.co/~gcalles/DUREZAROCKWELL.pdf>

Al comienzo el indentador penetra un poco en la superficie de la muestra bajo la acción de la carga previa P_0 , la cual se mantiene hasta el final del ensayo. Esto garantiza una mayor exactitud del ensayo ya que excluye la influencia de las vibraciones y de las irregularidades de la delgada capa superficial. Después se expone la probeta a la acción de la carga total (ecuación 3) y la profundidad de penetración aumenta.

$$Pf = P_0 + P_1$$

Ecuación 3. Carga total dureza Rockwell

Luego de retirada la carga principal P_1 , en el sistema probeta-indentador ocurre una recuperación elástica, ya que sobre el actúa sólo la carga previa P_0 , siendo posible la medición de la profundidad de penetración h , la cual determina el número de dureza Rockwell (HR). Para determinar la dureza Rockwell se utilizan dos tipos de indentadores: el cónico-esferoidal de diamante y el de bola (acero o carbono de

tungsteno) de varios diámetros Entre el número de Rockwell y la profundidad de la impronta h existe la siguiente dependencia:

Para el cono de diamante:

$$HR = 100 - \frac{h}{0.002}$$

Ecuación 4. Dureza Rockwell cono de diamante

Para las bolas de acero:

$$HR = 130 - \frac{h}{0.002}$$

Ecuación 5. Dureza Rockwell bola de acero

De estas fórmulas se deduce que cada unidad de dureza Rockwell corresponde a una penetración de 0,002 mm y que el valor de dichas unidades debe ser restado de cierto “tope” para que haya coherencia: a menor profundidad de penetración mayor será el número de Rockwell y viceversa.

Para el penetrador cónico esferoidal se muestran en la figura:

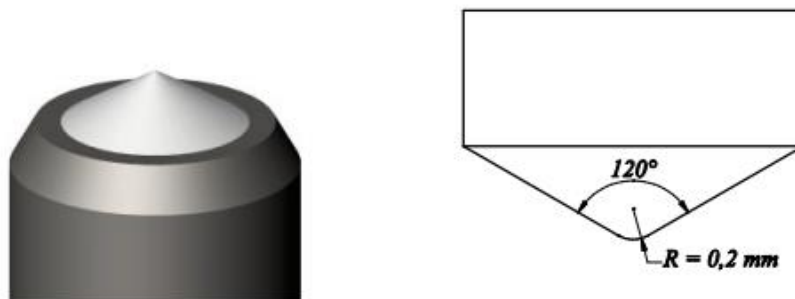


Figura 17. Ensayo Rockwell

Fuente: <http://www.utp.edu.co/~gcalle/DUREZAROCKWELL.pdf>

Las bolas son similares a las del método Brinell y tienen los siguientes diámetros: \varnothing 1/16"; \varnothing 1/8"; \varnothing 1/4"; \varnothing 1/2".

2.5 Ensayos metalográficos

La metalografía es la parte de la metalurgia que estudia las características estructurales o de constitución de los metales y aleaciones, para relacionarlas con las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los mismos. La importancia del examen metalográfico radica en que, aunque con ciertas limitaciones, es capaz de revelar la historia del tratamiento mecánico y térmico que ha sufrido el material. A

través de este estudio se pueden determinar características como el tamaño de grano, distribución de las fases que componen la aleación, inclusiones no metálicas como sopladuras, micro cavidades de contracción, escorias, etc., que pueden modificar las propiedades mecánicas del metal. En general a partir de un examen metalográfico bien practicado es posible obtener un diagnóstico y/o un pronóstico. El examen metalográfico puede realizarse antes de que la pieza sea destinada a un fin, a los efectos de prevenir inconvenientes durante su funcionamiento, o bien puede ser practicado sobre piezas que han fallado en su servicio, es decir, piezas que se han deformado, roto o gastado. En este caso la finalidad del examen es la determinación de la causa que produjo la anormalidad. Básicamente, el procedimiento que se realiza en un ensayo metalográfico incluye la extracción, preparación y ataque químico de la muestra, para terminar en la observación microscópica. Si bien la fase más importante de la metalografía es la observación microscópica, la experiencia demuestra que poco se puede hacer si alguna de las operaciones previas se realiza deficientemente. Si la etapa de preparación no se realiza cuidadosamente es posible que se obtenga una superficie poco representativa del metal y sus características. Una preparación incorrecta puede arrancar inclusiones no metálicas, barrer las láminas de grafito en una muestra de fundición, o modificar la distribución de fases si la muestra ha sufrido un sobrecalentamiento excesivo.

2.5.1 Extracción de la muestra

Durante la extracción de la muestra es fundamental considerar el lugar de donde se extraerá la probeta y la forma en que se hará dicha extracción. Se debe tener en cuenta que no es indiferente el lugar de donde se extraerá la muestra, según sea el objetivo del examen. Por ejemplo cuando se trata de una pieza rota en servicio y el objeto del examen es determinar las causas de dicha falla, la probeta debe extraerse, en la medida de lo posible, de la zona puntual donde la pieza ha fallado. Esto permitirá obtener la mayor información posible de las características del material en dicha zona y así obtener mejores conclusiones sobre las posibles causas de la falla. Por ejemplo, si se pretende determinar si un trozo de alambre posee trabajo en frío, causado por algún proceso de trefilado, se deberá observar una cara paralela al eje longitudinal de dicho trozo; por lo tanto la extracción de la muestra estará determinada por esta condición. En síntesis se debe lograr una muestra representativa del material a examinar. En cuanto a la forma de extracción de la probeta se debe tener en cuenta que esta operación debe realizarse en

condiciones tales que no afecten la estructura superficial de la misma. Por lo tanto se debe cuidar que la temperatura del material no se eleve demasiado durante el proceso de extracción. La extracción se puede hacer con cierras de corte manual, o en el caso de piezas muy duras con cortadoras sensitivas muy bien refrigeradas.

La preparación de la muestra puede dividirse en tres fases:

- Desbaste Grosero
- Desbaste Final
- Pulido

2.6 Ensayo de impacto

El ensayo de impacto es un ensayo destructivo, que consiste en romper una probeta del material a ensayar golpeándola con un péndulo. Para facilitar el inicio de la fisura, se realiza una hendidura o entalladura en la probeta. El objetivo del ensayo es conocer la energía que puede soportar un material al recibir un choque o impacto sin llegar a romperse.

En todos los ensayos los parámetros controlados están influidos por las condiciones que definen el ensayo: forma y tamaño de la probeta, temperatura, velocidad de aplicación de la carga, etc. El objetivo del ensayo es conocer la energía que puede soportar un material al recibir un choque o impacto sin llegar a romperse.

El ensayo de impacto, gracias a su sencillez y precisión e identidad de resultados obtenidos, es el método más empleado en los ensayos de metales con carga dinámica. Este ensayo da la posibilidad de determinar el grado de resistencia del material a la rotura cuando se aplica la carga dinámica.

Los impactos de ensayo a flexión son realizados con la ayuda del péndulo de Charpy, con una energía que sobrepasa los 30 kgf-cm. El esquema de ensayo se muestra en la figura 18.

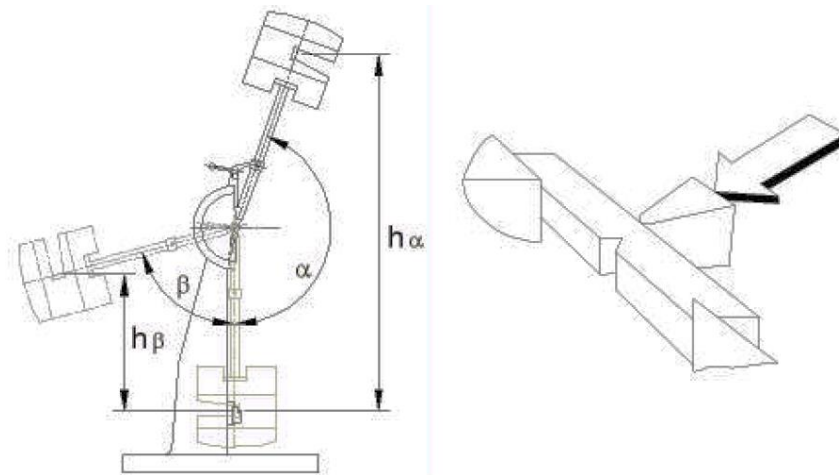


Figura 18. Esquema de trabajo péndulo de Charpy

Fuente:

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/TEMII.2.7.PROPIEDADESMECANICAS.pdf>

La muestra se coloca horizontalmente en un patrón especial que garantiza estrictamente la posición de la incisión (ranura, entalla) en la parte media del vano entre los apoyos. El impacto es aplicado desde el lado opuesto a la incisión, en el plano perpendicular al eje longitudinal de la muestra. El péndulo se fija en la posición superior inicial a la altura h_{α} de 1.6 m, lo que corresponde a una velocidad del cuchillo del péndulo, en el momento del impacto de aproximadamente de 5.6 m/s. Luego la uña de fijación se retira, el péndulo cae libremente por efecto de su propia gravedad aplicando un impacto a la muestra, que la encorva y destruye elevándose en relación al eje vertical del péndulo de Charpy en un ángulo β . Este ángulo es tanto menor, cuanto mayor es la energía aplicada en el proceso por el péndulo para la deformación y destrucción de la muestra.

Por medio de la escala, se mide el ángulo de elevación del péndulo y directamente se lee la energía consumida en el proceso (Joule).

Una parte de la energía de impacto es empleada en la sacudida del péndulo y del bastidor, para vencer la resistencia del aire, en el roce de los cojinetes y del dispositivo de medición, en la deformación de la muestra cerca de los apoyos y bajo el cuchillo, en la transmisión de energía a las fracciones de la muestra y en la deformación elástica de la barra del péndulo.

La influencia de estos factores, que hacen variar las mediciones hasta en un 30% de un péndulo a otro pueden ser minimizadas restando la influencia de los factores cuantificables o medibles. En otras palabras, se aconseja restar de la energía mostrada por el indicador E_i la energía imprimida a las fracciones de probeta en forma de energía cinética E_k y la energía disipada por fricciones E_f . De esta

manera, la energía aproximada, usada solo para la destrucción de la probeta E_r , será:

$$E_r = E_i - E_f - E_k$$

Ecuación 6. Energía resultante Charpy

E_f , energía disipada por fricciones, debe ser medida antes de cada ensayo, para esto se deja caer libremente el péndulo, sin instalar probeta en los apoyos y se anota la energía mostrada por el indicador.

E_k , energía cinética necesaria para el desplazamiento de las fracciones de probeta luego de la rotura puede ser calculada

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Ecuación 7. Energía cinética

Donde m es la masa de la probeta y v es la velocidad de las fracciones, que se asume igual a la velocidad del péndulo en el momento del impacto (aproximadamente $v=5.6$ m/s)

El estándar ASTM E23 define el ensayo de barras ranuradas al impacto como un ensayo por el cual se observa el comportamiento del metal cuando está sujeto a la aplicación de una carga única que genera un estado de esfuerzos multiaxial asociado a la ranura, en conjunto con altas rangos de carga y en algunos casos altas o bajas temperaturas.

2.7 Tratamientos térmicos del acero

Un tratamiento térmico es un proceso que involucra el calentamiento a una determinada temperatura, la permanencia en el horno y, finalmente, el enfriamiento, como muestra la Figura 19. Tiene como objetivo modificar las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, resistencia al impacto, a la fatiga, etc.) y tecnológicas (maquinabilidad, conformabilidad, soldabilidad), homogenizar la composición química y su microestructura, y/o mejorar la resistencia a la corrosión de los materiales metálicos.

Para ello, el metal, siempre en estado sólido, es sometido a una serie de ciclos de calentamiento y enfriamiento que producen generalmente cambios microestructurales, que modifican las propiedades antes mencionadas.

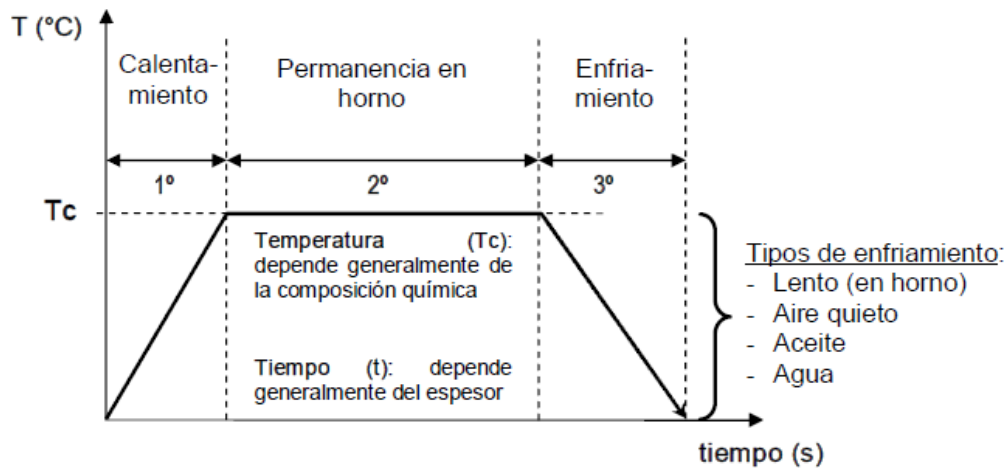


Figura 19. Esquema que muestra las diferentes etapas de un tratamiento térmico
Fuente: Curso AFA PUCP

Los tratamientos térmicos confieren al acero una amplia gama de posibilidades en propiedades mecánicas, pues pueden hacer de él un material sumamente dúctil o, por el contrario, extremadamente duro, capaz de soportar golpes o incluso puede cortar otros metales, que sea resistente a la corrosión o que alcance la máxima resistencia mecánica.

2.7.1 Temple

El tratamiento térmico de temple y revenido (bonificado) le confiere al acero las más elevadas propiedades mecánicas, sea esta una alta dureza para mejorar la resistencia al desgaste de una herramienta de corte o una elevada resistencia mecánica para la fabricación de elementos de máquinas de alta resistencia.

El temple consiste en someter al acero a un proceso de austenización total (aceros hipoeutectoides) o parcial (aceros hipereutectoides) para luego enfriar rápidamente hasta la temperatura ambiente.

El objetivo de ello es lograr la transformación de la austenita en martensita, que es un proceso no difusivo y requiere velocidades de enfriamiento relativamente altas para su desarrollo en aceros al carbono y de baja aleación.

La transformación martensítica del acero provoca en él un incremento notable de su dureza y tiene una serie de características muy particulares.

La transformación martensítica es sin difusión. Debido a que la transformación se produce a bajas temperaturas y a una velocidad de enfriamiento alta, el tiempo de permanencia a temperaturas altas es insuficiente para promover la difusión de los átomos de carbono. Como consecuencia de ello, la composición química de una

región del acero permanece invariable después de la transformación (la martensita tiene la misma composición química que la austenita que le dio origen).

2.7.2 Revenido

Los aceros en condición de temple tienen una elevada dureza pero además una gran fragilidad, por lo que su empleo en estas condiciones no es posible.

Para mejorar la tenacidad del material y conseguir valores de resistencia mecánica muy superiores a los obtenidos en los tratamientos térmicos de recocido y normalizado, se lleva a cabo, inmediatamente después del temple, un tratamiento térmico conocido como revenido.

El revenido es un tratamiento térmico que consiste en calentar la martensita y transformarla en un constituyente de $Fe\alpha$ y Fe_3C , pero con una morfología diferente a la estructura perlítica.

Este constituyente se conoce con el nombre genérico de martensita revenida que es oscura, a diferencia de la martensita que es clara, puede presentar diferentes propiedades mecánicas, según sea la temperatura de revenido empleada.

El tiempo de permanencia en el horno es generalmente el doble del tiempo requerido para el templado, con un enfriamiento posterior en aire quieto. Con el tratamiento se disminuye la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, quedando además el acero con la dureza o resistencia deseada.

2.7.3 Microconstituyentes del acero

a) Perlita

La distancia media entre las láminas, de ferrita y cementita, dependerá de la velocidad de enfriamiento desde la temperatura de austenización. Cuando el enfriamiento es lento, esta distancia es mayor, llamándose perlita “gruesa”.

Cuando el enfriamiento se realiza en aire, la distancia disminuye y la perlita se llamará “fina”. La Tabla 4 muestra los valores en resistencia a la tracción y dureza de la perlita fina y gruesa.

Tabla 4. Propiedades de la perlita fina y gruesa
Fuente: Curso AFA PUCP

Tipo de Perlita	Resistencia a la tracción (kg/mm ²)	Dureza Brinell (HB)
Gruesa	60	180
Fina	85	250

b) Bainita

La microestructura es tan fina que las partículas iniciales de ferrita y cementita, en la bainita, no pueden apreciarse en un microscopio metalográfico, como ocurre con la perlita. La bainita es más dura que la perlita y más tenaz que la martensita de dureza equivalente.

Para obtener 100% de bainita se debe enfriar el acero rápidamente, con una velocidad de enfriamiento mayor o igual a la crítica de temple, hasta un intervalo de temperatura entre 550°C y 250°C, luego permanecer dentro de esa temperatura durante un tiempo en el que se producirá la bainita mediante una transformación isotérmica. La bainita superior se forma a temperaturas comprendidas entre 550°C y 350°C, mientras que la inferior entre los 350°C y 250°C.

Tabla 5. Propiedades de la bainita superior e inferior
Fuente: Curso AFA PUCP

Tipo de Bainita	Resistencia a la tracción (kg/mm ²)	Dureza Brinell (HB)	Alargamiento (%)
Superior	88-140	250-400	10-20
Inferior	140-175	400-500	5-10

c) Martensita

Su dureza, resistencia mecánica y fragilidad aumentan con el contenido de carbono. Después de los carburos y la cementita, es el constituyente más duro de los aceros. Tiene una resistencia a la tracción que varía entre 170 kg/mm² y 250 kg/mm², una dureza entre 50 HRC a 68 HRC y un alargamiento.

CAPITULO III

ANALISIS DE DESGASTE DE CUCHARON

En este capítulo se realizó una simulación del desgaste del cucharon en general, una punta nueva y una punta reparada para verificar la medida de desgaste de un cucharon en general, para lo cual se utilizó el software EDEM para realizar las diferentes simulación.

Para calcular el desgaste el software se base en la ecuación de Archard, el cual es un modelo para calcular el desgaste basado en la teoría de contacto por aspereza. La ecuación simplificada es:

$$Q = \frac{KWL}{H}$$

Ecuación 8. Ecuación Archard

Donde

Q, es el volumen total de partículas de desgaste

K, es una constante adimensional

W, es la carga total

L, es la distancia de deslizamiento

H, es la dureza de las superficies de contacto suave

Para hallar el desgaste según el software se requiere encontrar este valor K, que es una constante adimensional que se encuentra según los tipos de materiales que entraran en contacto.

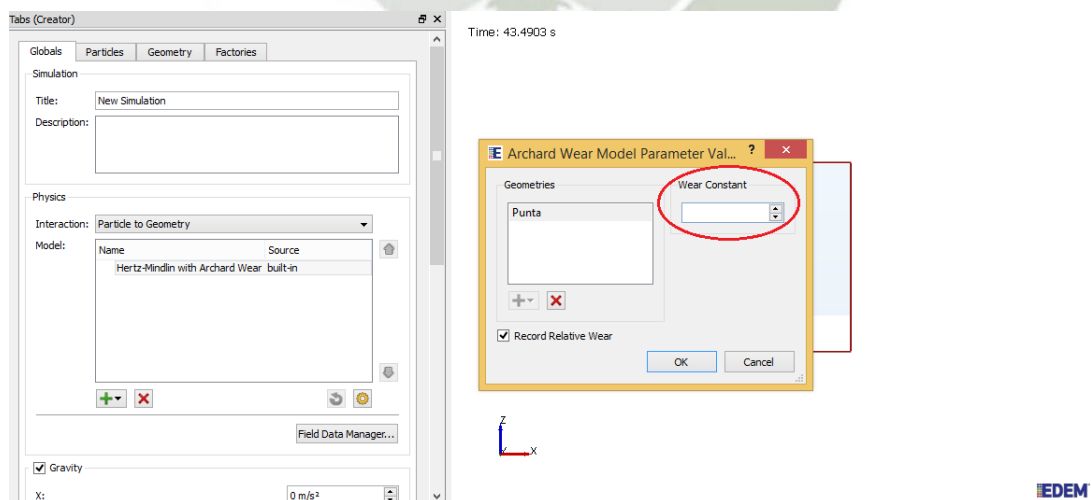


Figura 20. Constante K para simulación de desgaste EDEM
Fuente: Propia

Se requiere datos de los materiales tanto del acero antidesgaste como del mineral (calcopirita). Para los datos, como coeficiente de restitución se pondrá un valor aproximado de 0.5 ya que el coeficiente de restitución entre 0 y 1 indica un choque inelástico, donde solo se conserva el momento lineal y una parte de la energía cinética inicial de las partículas se convierte en energía de deformación plástica, sonora, de calor, etc. Se utilizará un valor de 0.53 para el coeficiente de fricción estática³. Se utilizará un valor de 0.0005 para el coeficiente por fricción a la rodadura según la tabla a continuación en el que tomamos como referencia un contacto acero con acero.

Material	Rolling friction
Steel on Steel	0.0005m
Wood on Steel	0.0012m
Wood on Wood	0.0015m
Iron on Iron	0.00051m
Iron on Granite	0.0021m
Iron on Wood	0.0056m
Polymer on Steel	0.002m
Hard rubber on Steel	0.0077m
Hard rubber on Concrete	0.01 - 0.02m
Rubber on Concrete	0.015 - 0.035m

Note: Values for rolling friction from various sources are not consistent and these values should only be used for approximate calculations. Remember also the coefficient of rolling friction is dependent on the cylinder radius and therefore has units of length (metres).

³ The Engineering Tool Box: "Friction and Friction Coefficients of some Common Materials".
www.engineeringtoolbox.com

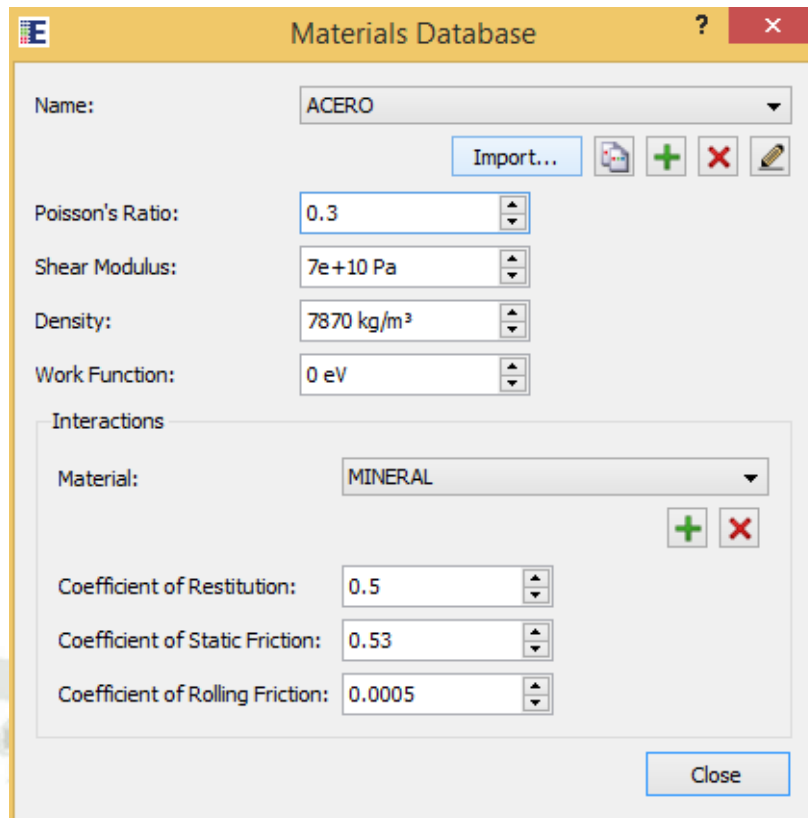


Gráfico 1. Datos de materiales a simular en software EDEM
Fuente: Propia

Se requiere definir la partícula para que sea simulada, se asignada el material en este caso calcopirita. Se utilizo los siguientes datos de calcopirita para el análisis en software:

Tabla 6. Especificaciones calcopirita
Fuente: SMCV

Datos de mineral	
Formula	$Cu^{1+}Fe^{3+}S_2$
Color	Amarillo latón
Transparencia	Opaco
Dureza Mohs	3.5 – 4
Dureza VHN ₁₀₀	187
Tenacidad	Frágil
Fractura	Irregular
Densidad medido (g/cm ³)	4.1 - 4.3
Densidad calculado (g/cm ³)	4.18
Granulometría promedio (cm)	10
Composición química	Fe: 30,43% Cu: 34,63% S: 34,94%

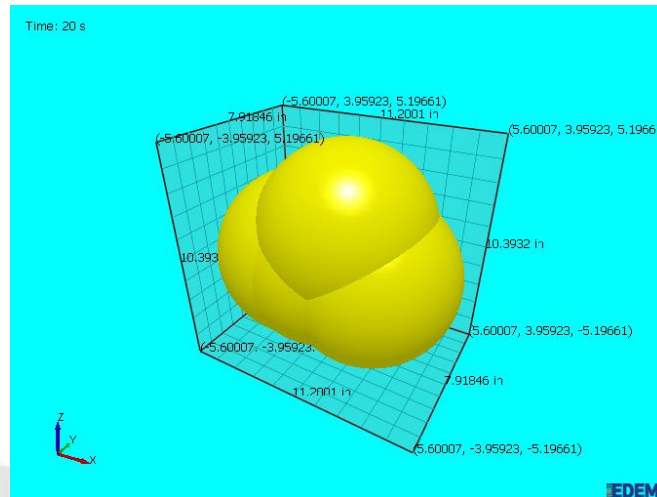


Gráfico 2. Diseño de partícula por software EDEM
Fuente: Propia

Al final se define los parámetros de geometría y de velocidad de la partícula en todos los casos el componente estará estático y se simulara que el mineral circula por el componente. Para todos los casos emplearemos una velocidad aproximada de 8 m/s velocidad promedio del cucharon de la pala. Se realizara la simulación de un minuto y verificaremos el desgaste del cucharon, de una punta nueva y reparada. La simulación se realizara en base a un minuto ya que se requiere el mismo tiempo de análisis de desgaste para todos los casos.

3.1 Análisis de cucharon

Se procedió a analizar por medio de software el desgaste que se presenta en un cucharon al ser sometido a partículas de mineral.

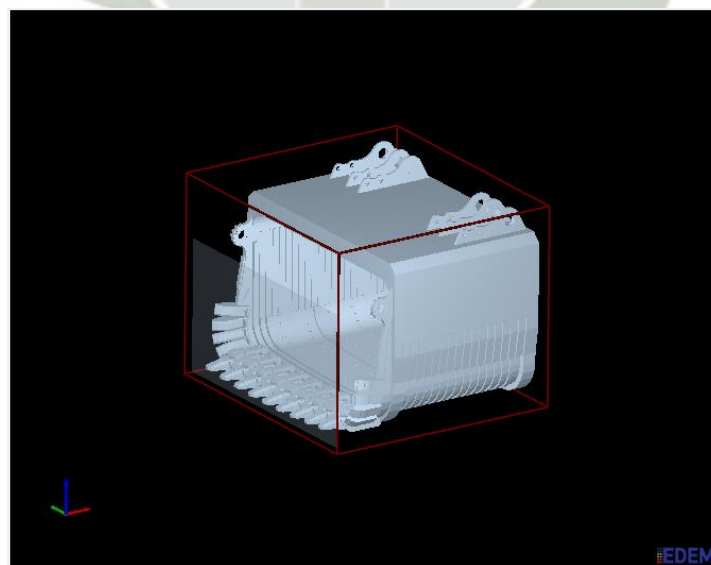


Figura 21. Cucharon a analizar mediante software EDEM
Fuente: Propia

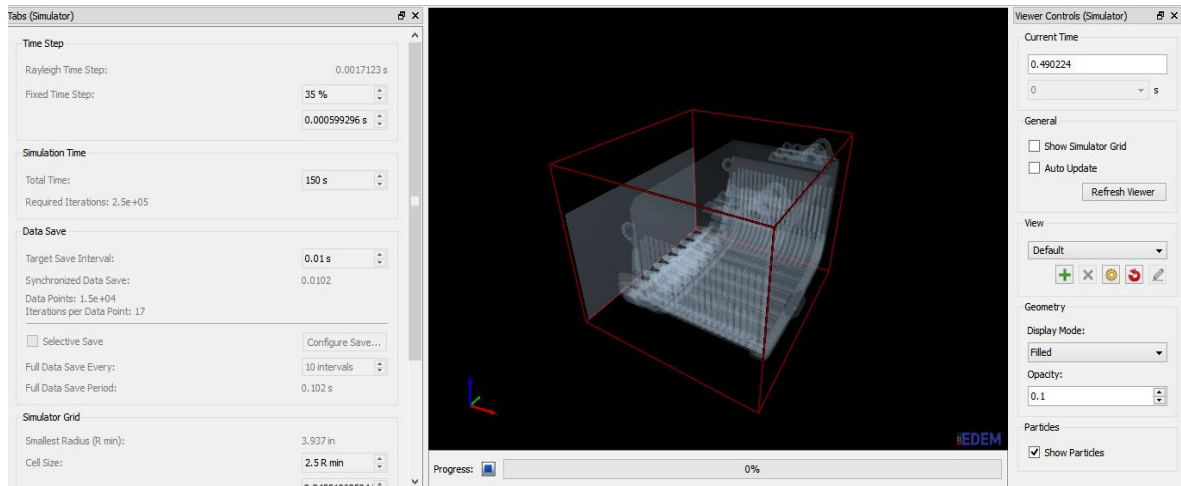


Figura 22. Cucharon a analizar mediante software EDEM
Fuente: Propia

Los resultados fueron los siguientes:

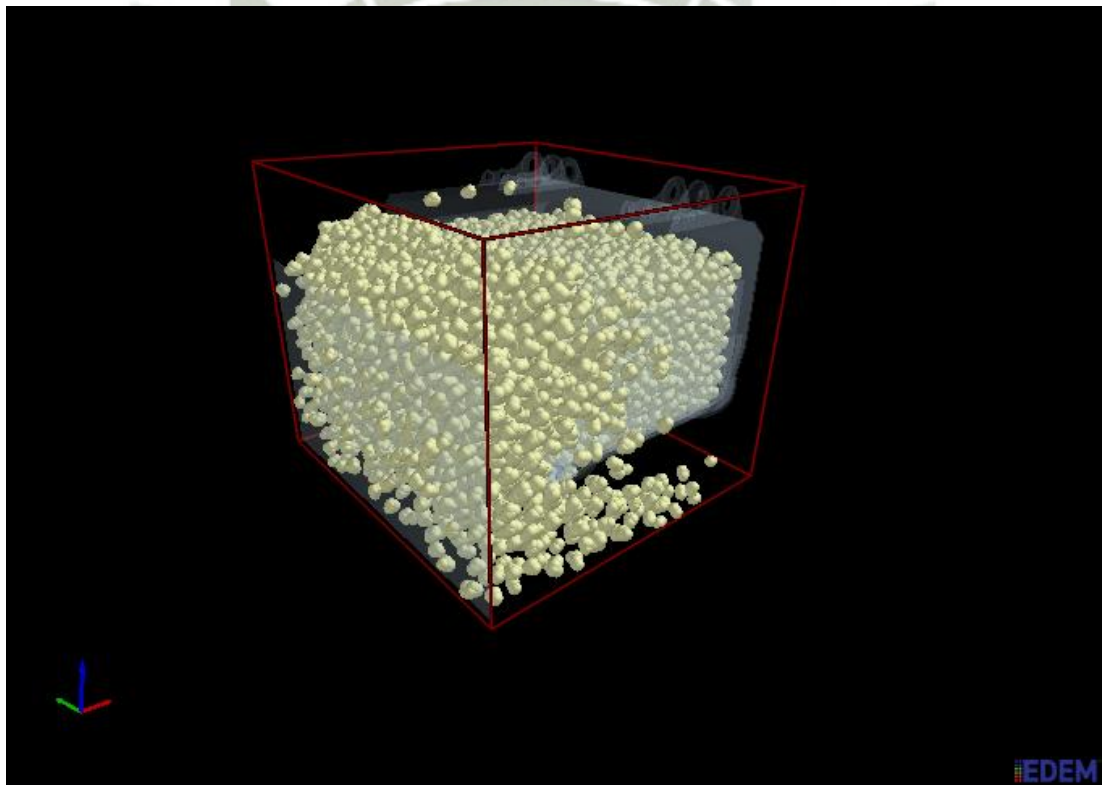


Gráfico 3. Cucharon lleno con material mediante software EDEM
Fuente: Propia

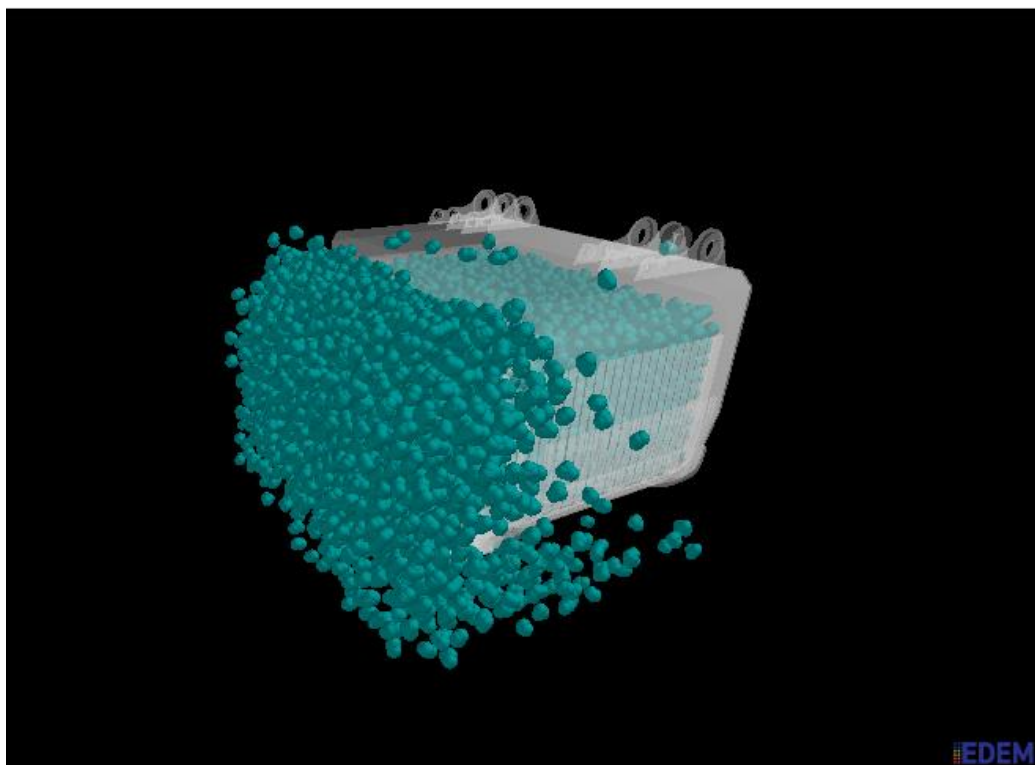


Gráfico 4. Cucharón lleno con material mediante software EDEM

Fuente: Propia

Se verifico que empieza un desgaste paulatino empezando por las puntas y entredientes y parte interna del cucharón, luego se aprecia que el desgaste aumenta dentro del cucharón y la parte de la tapa, la parte más crítica de desgaste se presenta en las planchas interiores, puntas y entredientes.

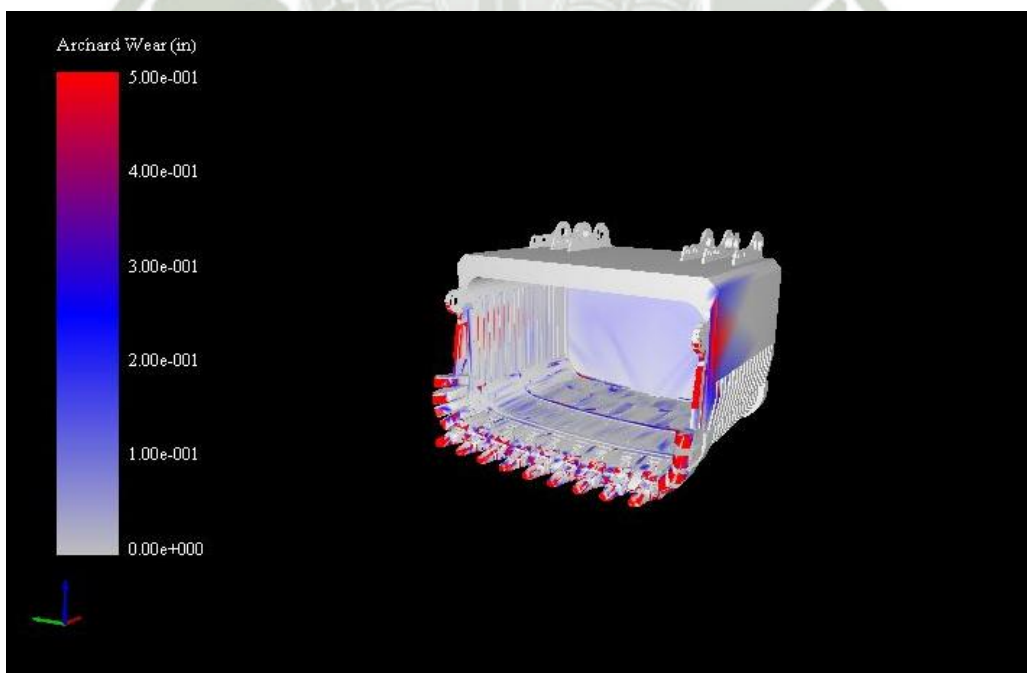


Gráfico 5. Simulación de desgaste de cucharón mediante software EDEM

Fuente: Propia

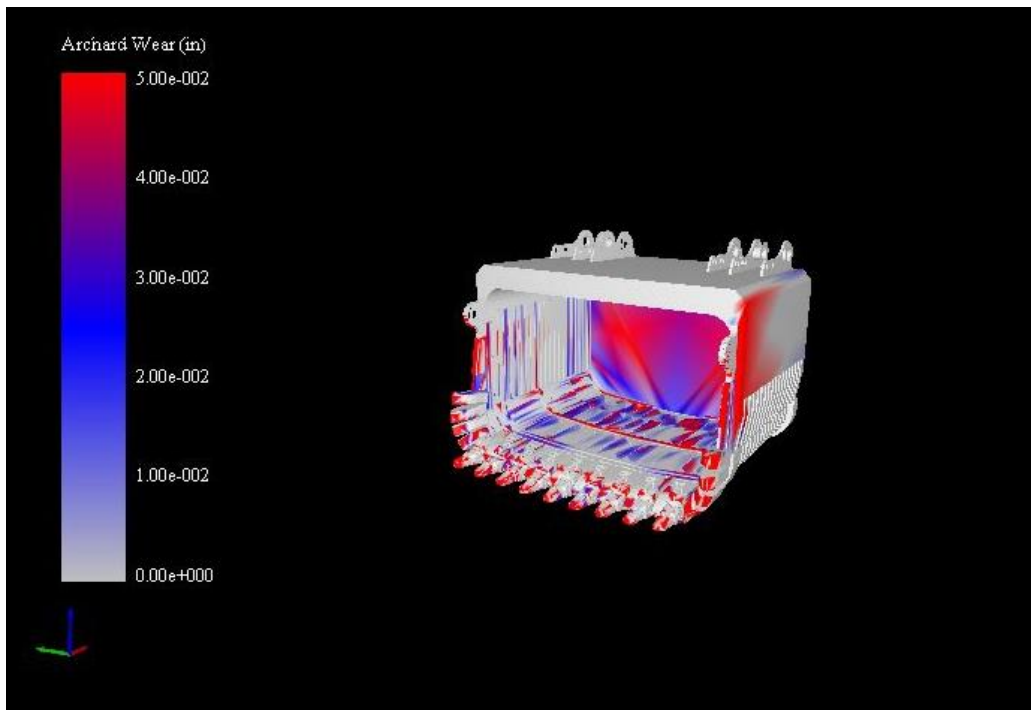


Gráfico 6. Simulación de desgaste de cucharón mediante software EDEM
Fuente: Propia

3.2 Análisis de punta nueva

Se procedió a analizar por medio de software el desgaste que se presenta en una punta nueva al ser sometido a partículas de mineral.

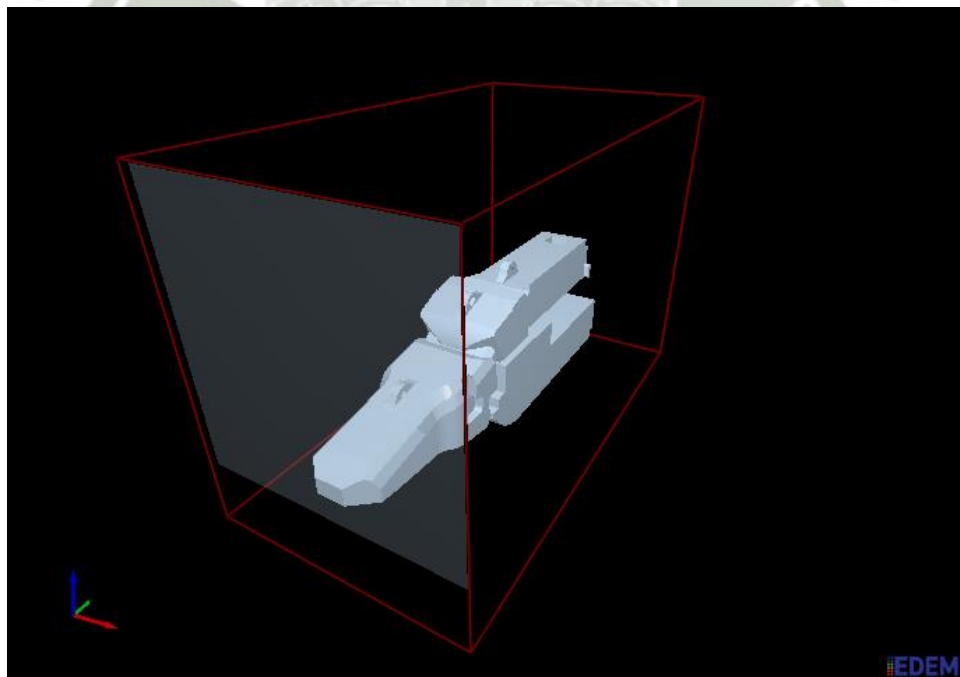


Figura 23. Análisis de punta mediante software EDEM
Fuente: Propia

Los resultados fueron los siguientes:

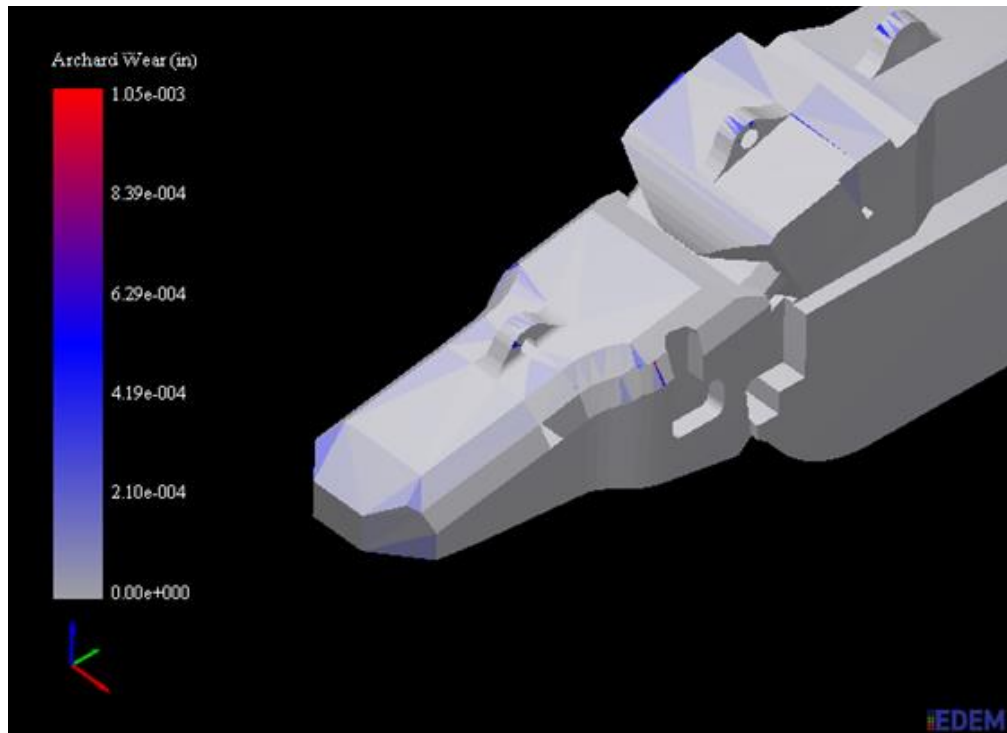


Gráfico 7. Resultados análisis punta mediante software EDEM
Fuente: Propia

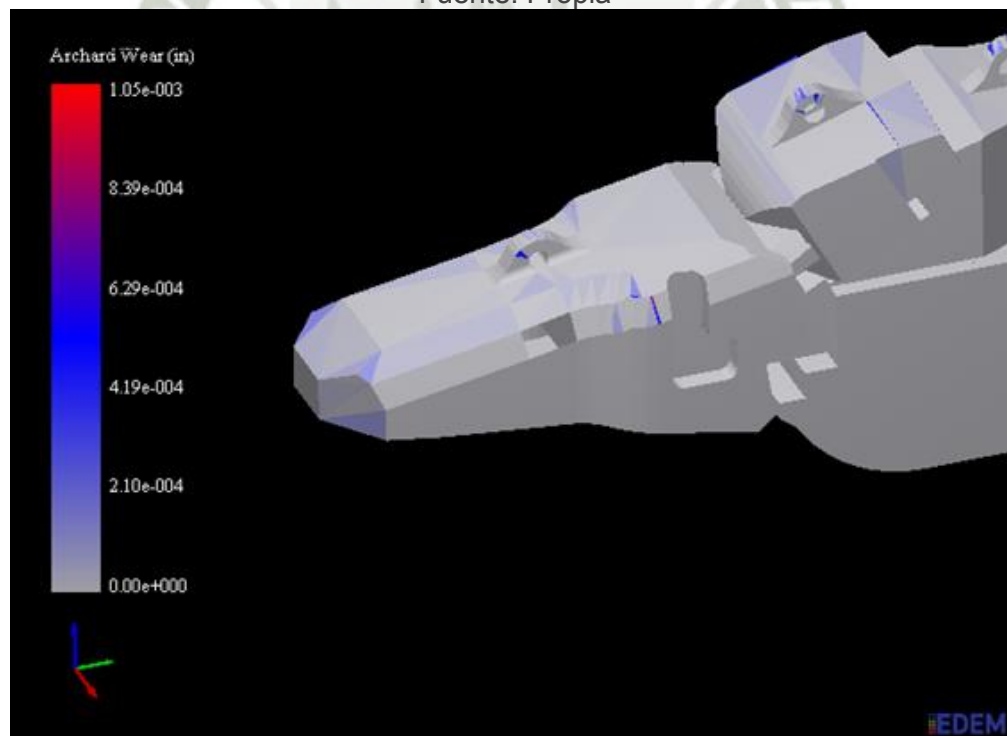


Gráfico 8. Resultados análisis de punta mediante software EDEM
Fuente: Propia

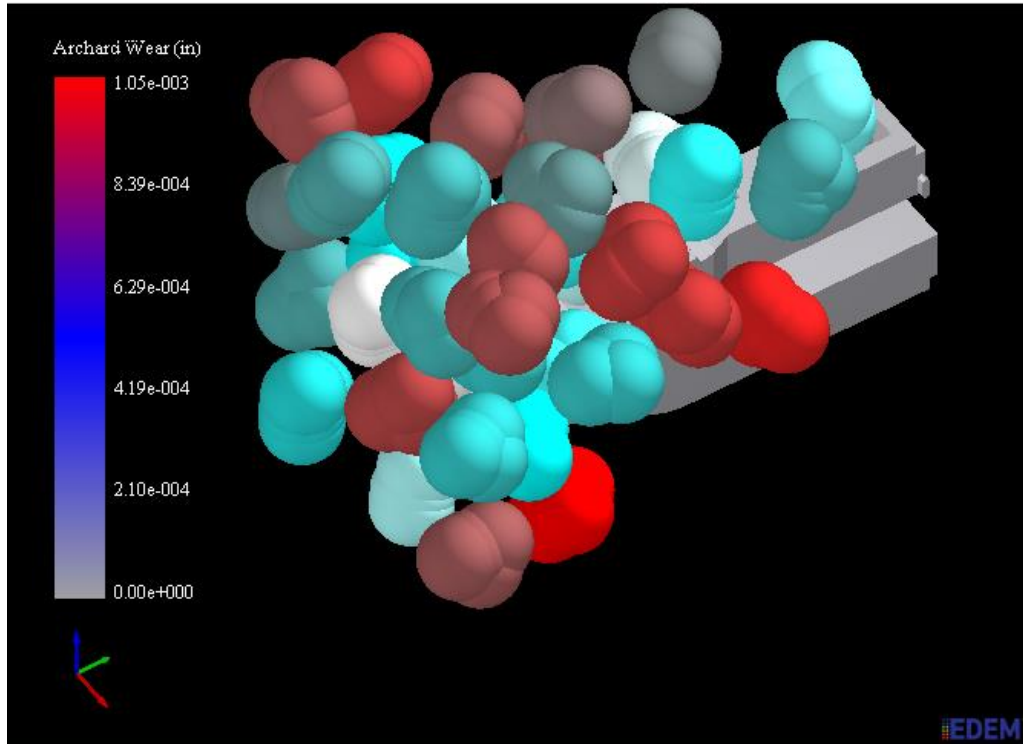


Gráfico 9. Simulación de partículas mediante software EDEM
Fuente: Propia

Según los resultados del análisis de desgaste, en un minuto, la punta presenta un desgaste de 0.000375 pulg según el software, es decir:

$$3.75 \times 10^{-4} \frac{\text{pulg}}{\text{min}} \cdot \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right) \cdot \left(\frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ día}} \right) = 0.54 \frac{\text{pulg}}{\text{día}}$$

Aproximadamente una punta nueva se desgasta 0.54 pulg/día. Si una punta nueva tiene una longitud de 21.62 pulg, la punta se desinstala cuando tiene 13 pulg de longitud según dato de fabricante. La punta nueva durara:

$$\frac{13 \text{ pulg}}{0.54 \frac{\text{pulg}}{\text{día}}} = 24 \text{ días aprox}$$

3.3 Análisis de punta reparada

Se procedió a analizar por medio de software el desgaste que se presenta en una punta reconstruida por soldadura al ser sometido a partículas de mineral.

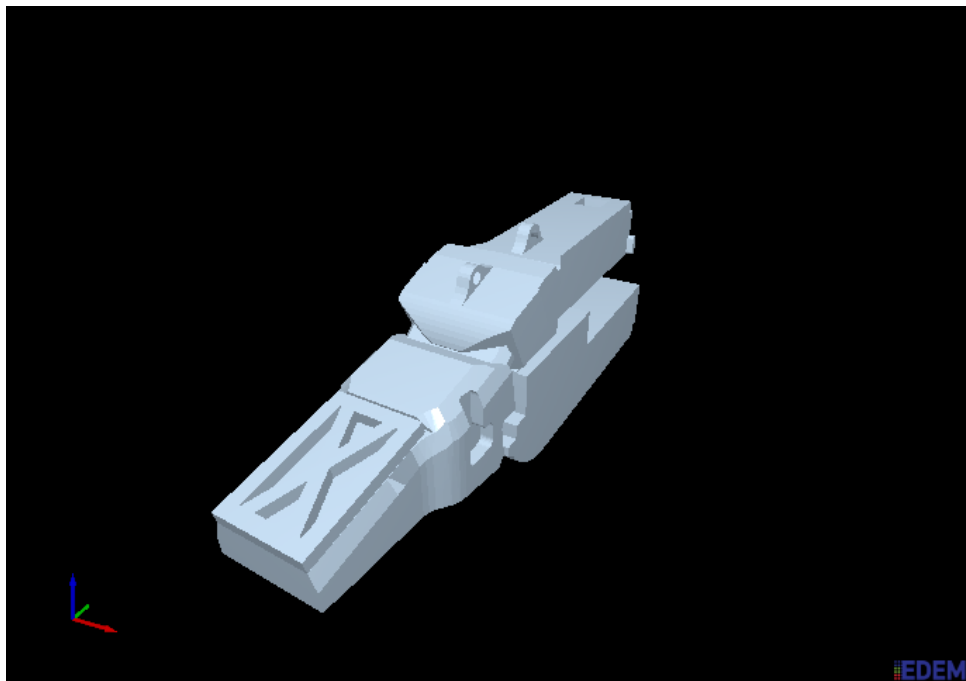


Figura 24. Análisis de punta reparada mediante software EDEM
Fuente: Propia

Los resultados fueron los siguientes:

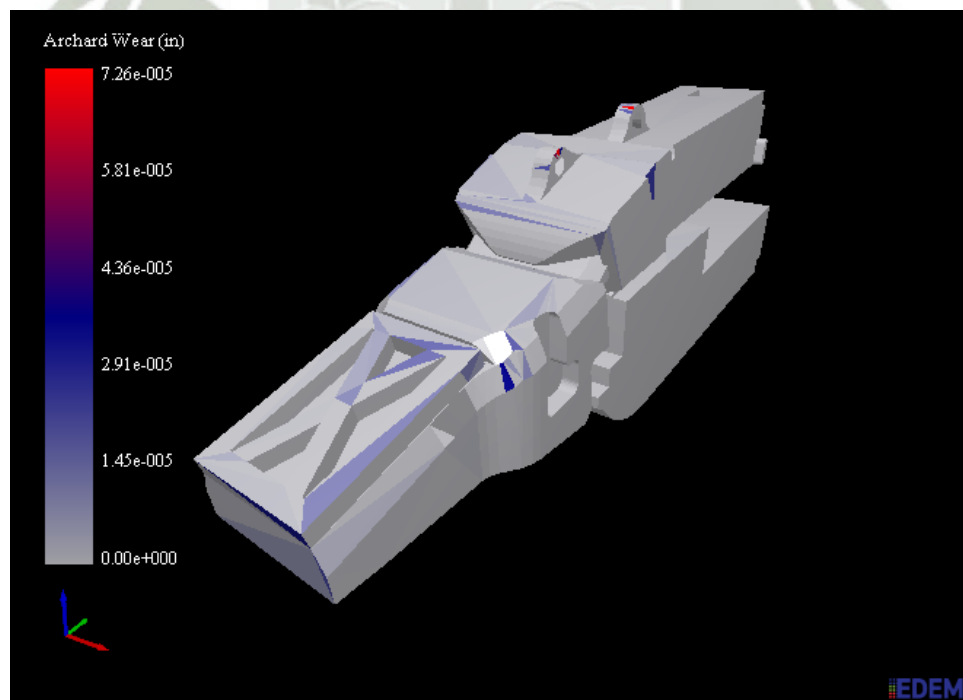


Gráfico 10. Resultado de análisis punta reparada mediante software EDEM
Fuente: Propia

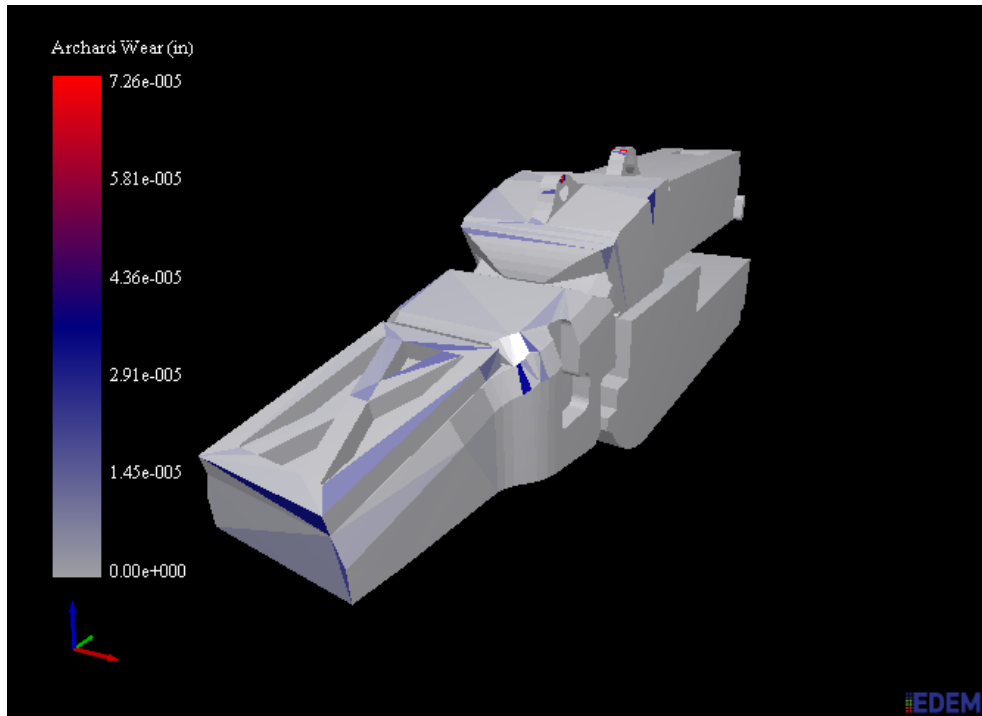


Gráfico 11. Resultado de análisis punta reparada mediante software EDEM
Fuente: Propia

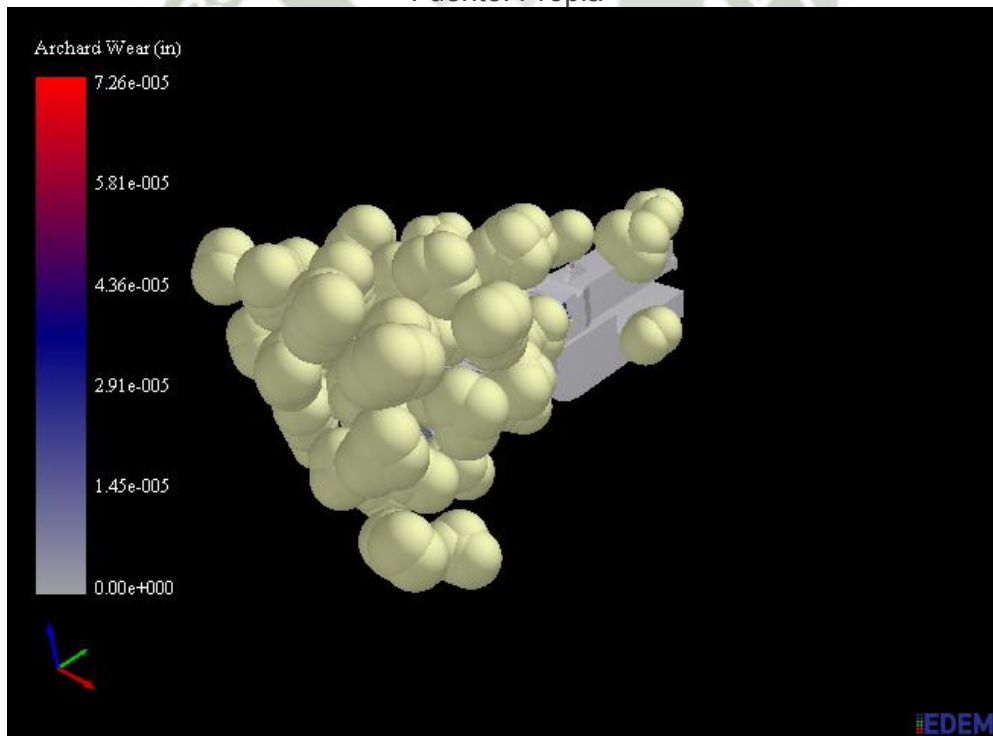


Gráfico 12. Simulación de partículas punta reparada mediante software EDEM
Fuente: Propia

Según los resultados del análisis de desgaste, en un minuto, la punta presenta un desgaste de 0.000694 pulg según el software, es decir:

$$6.94 \times 10^{-4} \frac{\text{pulg}}{\text{min}} \cdot \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}}\right) \cdot \left(\frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ dia}}\right) = 1 \frac{\text{pulg}}{\text{dia}}$$

Aproximadamente una punta nueva se desgasta 1 pulg/día. Si una punta nueva tiene una longitud de 21.62 pulg, la punta se desinstala cuando tiene 13 pulg de longitud según dato de fabricante. La punta nueva durara:

$$\frac{13 \text{ pulg}}{1 \frac{\text{pulg}}{\text{dia}}} = 13 \text{ dias aprox}$$

3.4 Análisis de punta reparada y tratada térmicamente

Se procedió a analizar por medio de software el desgaste que se presenta en una punta reconstruida por soldadura y tratada térmicamente al ser sometido a partículas de mineral.

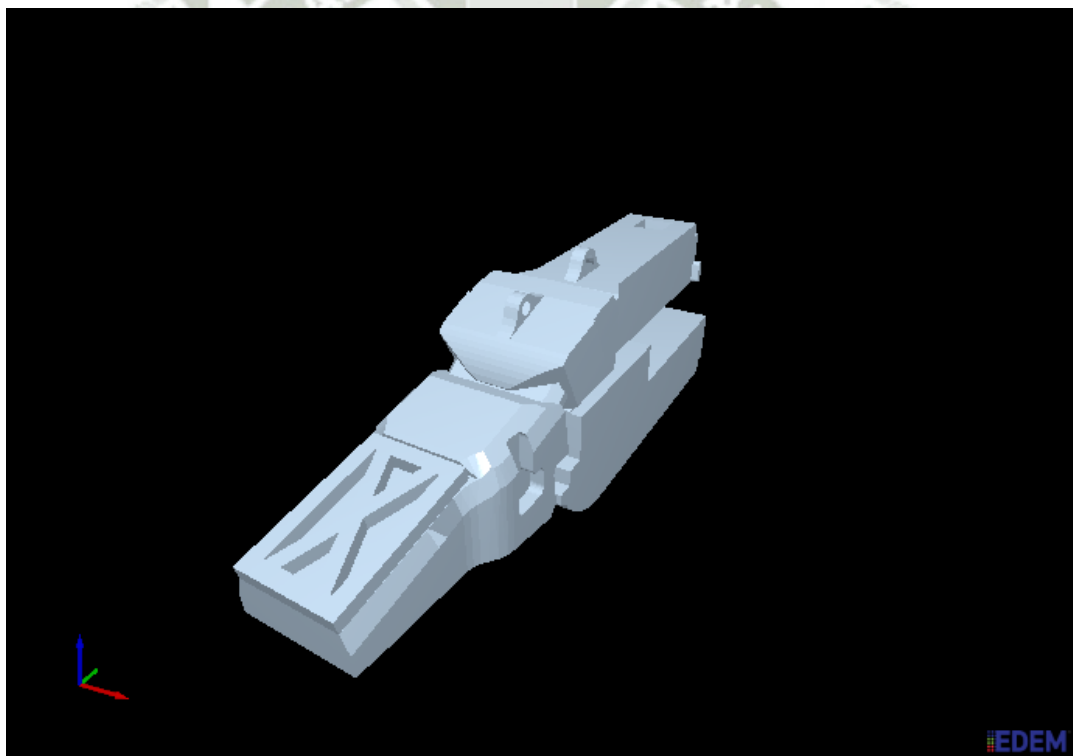


Figura 25. Análisis de punta reparada y tratada mediante software EDEM
Fuente: Propia

Los resultados fueron los siguientes:

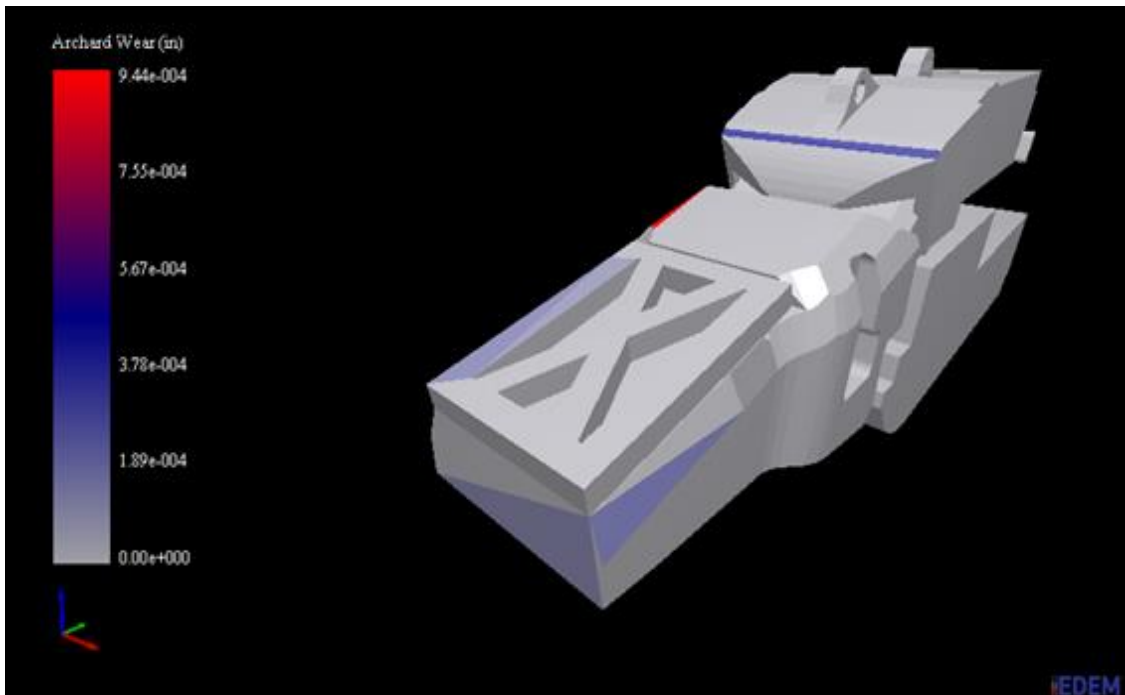


Gráfico 13. Resultado de análisis punta reparada y tratada mediante software EDEM
Fuente: Propia

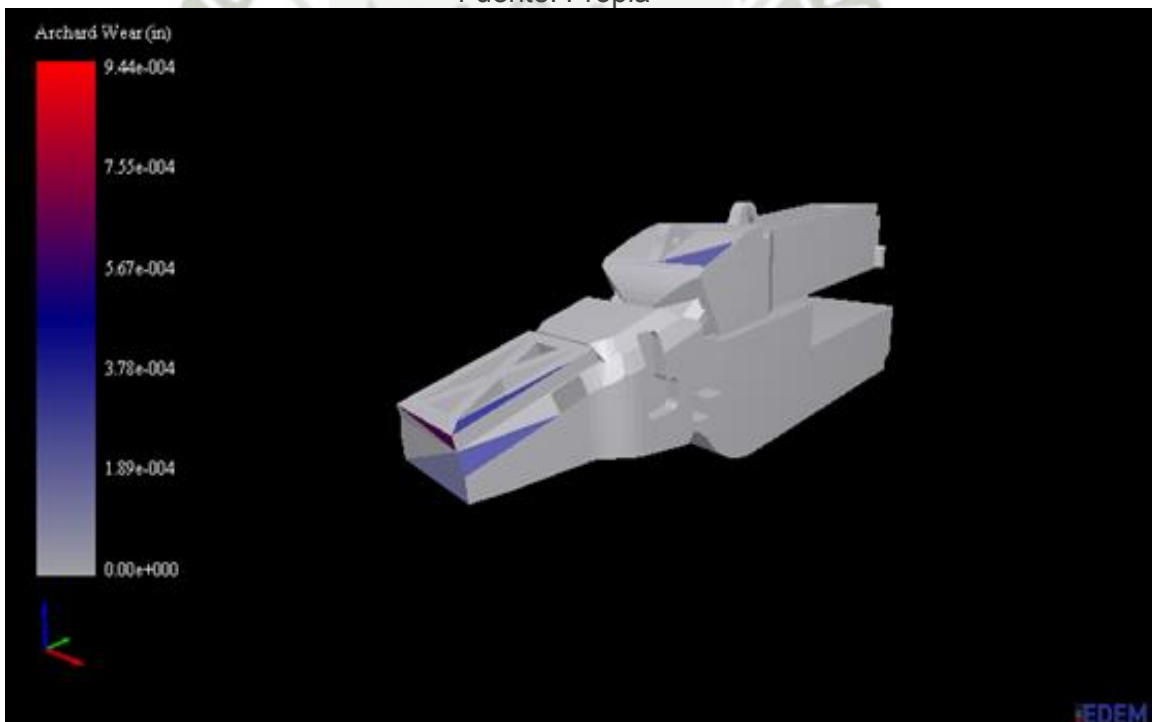


Gráfico 14. Resultado de análisis punta reparada y tratada mediante software EDEM
Fuente: Propia

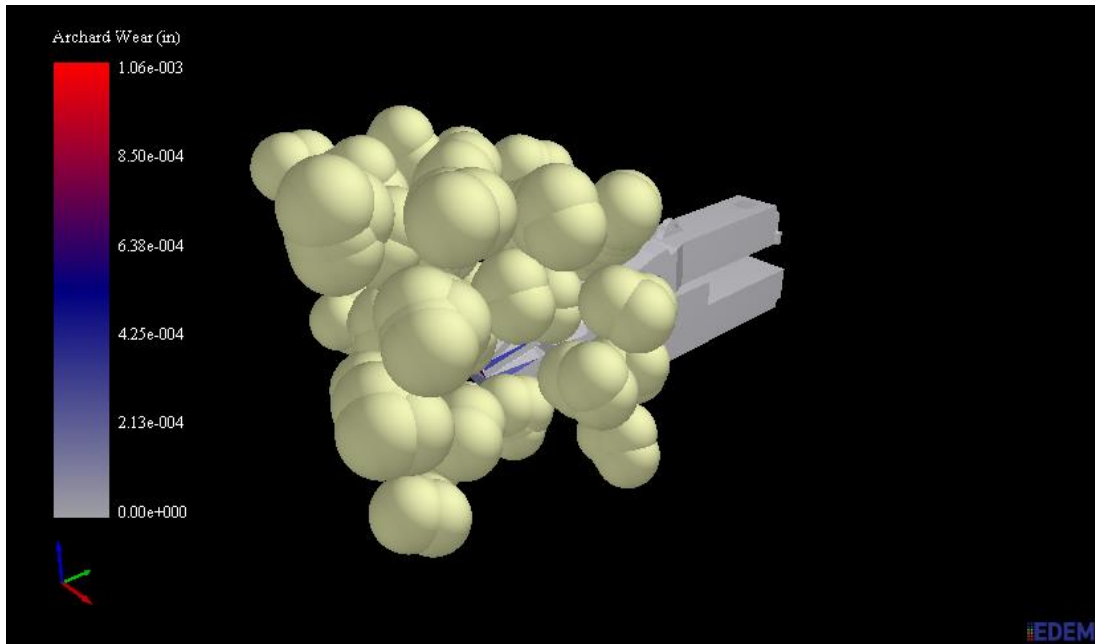


Gráfico 15. Simulación de partículas punta reparada y tratada mediante software EDEM
Fuente: Propia

Según los resultados del análisis de desgaste, en un minuto, la punta presenta un desgaste de 0.000502 pulg según el software, es decir:

$$5.02 \times 10^{-4} \frac{\text{pulg}}{\text{min}} \cdot \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}}\right) \cdot \left(\frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ dia}}\right) = 0.72 \frac{\text{pulg}}{\text{dia}}$$

Aproximadamente una punta nueva se desgasta 0.72 pulg/día. Si una punta nueva tiene una longitud de 21.62 pulg, la punta se desinstala cuando tiene 13 pulg de longitud según dato de fabricante. La punta nueva durara:

$$\frac{13 \text{ pulg}}{0.72 \frac{\text{pulg}}{\text{dia}}} = 18 \text{ dias aprox}$$

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA PARA EL CUCHARON

En el análisis completo del cucharon a estudiar es necesario realizar un AMFE para poder identificar cuáles son las zonas con mayor desgaste y críticas en un cucharon curvo Optima P&H.

4.1 Índices de evaluación

a) Índice de Gravedad (G)

Evalúa la gravedad del efecto o consecuencia de que se produzca un determinado fallo para el cliente. La evaluación se realiza en una escala del 1 al 10 (Tabla 7).

b) Índice de Ocurrencia (O)

Evalúa la probabilidad de que se produzca el modo de fallo por cada una de las causas potenciales en una escala del 1 al 10 (Tabla 8).

c) Índice de Detección (D)

Evalúa, para cada causa, la probabilidad de detectar dicha causa y el modo de fallo resultante antes de llegar al cliente en una escala del 1 al 10 (Tabla 9).

d) Criterios para el cálculo del número de prioridad de riesgo

Para cada causa potencial, de cada uno de los modos potenciales, se calculará el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), de la siguiente manera:

$$NPR = Gravedad(G) \times Ocurrencia (O) \times Deteccion (D)$$

Ecuación 9. Calculo número de prioridad de riesgo

El valor resultante podrá oscilar entre 1 y 1.000, correspondiendo a 1.000 el mayor Potencial de Riesgo.

4.2 Desarrollo de Análisis de Modo y Efecto de Falla

Tabla 7. Grado de gravedad
Fuente: SAE ARP 4761⁴

CRITERIO	CLASIFICACIÓN
Irrazonable esperar que el fallo produjese un efecto perceptible en el rendimiento del producto o servicio. Probablemente, el cliente no podrá detectar el fallo.	1
Baja gravedad debido a la escala importancia de las consecuencias del fallo, que causarían en el cliente un ligero descontento.	2 3
Moderada gravedad del fallo que causaría al cliente cierto descontento. Puede ocasionar retrabajos.	4 5 6
Alta clasificación de gravedad debido a la naturaleza del fallo que causa en el cliente un alto grado de insatisfacción sin llegar a incumplir la normatividad sobre seguridad o quebrando de leyes. Requiere retrabajos mayores.	7 8
Muy alta clasificación de gravedad que origina total insatisfacción del cliente, o puede llegar a suponer un riesgo para la seguridad o incumplimiento de la normatividad	9 10

⁴ Directrices y métodos para llevar a cabo el proceso de evaluación de la seguridad operacional en sistemas y equipos civiles aerotransportados

Tabla 8. Ocurrencia
Fuente: SAE ARP 4761

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	PROBABILIDAD
Remota probabilidad de ocurrencia. Sería irrazonable esperar que se produjera el fallo	1	1/10000
Baja probabilidad de ocurrencia. Ocasionalmente podría producirse un número relativo bajo de fallos.	2 3	1/5000 1/2000
Moderada probabilidad de ocurrencia. Asociados a situaciones similares que hayan tenido fallos esporádicos, pero no en grandes proporciones.	4 5 6	1/1000 1/500 1/200
Alta probabilidad de ocurrencia. Los fallos se presentan con frecuencia.	7 8	1/100 1/50
Muy alta probabilidad de ocurrencia. Se producirá el fallo casi con total seguridad.	9 10	1/20 1/10

Tabla 9. Detección
Fuente: SAE ARP 4761

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	PROBABILIDAD
Remota probabilidad de que el defecto llegue al cliente. Casi completa fiabilidad de los controles.	1	1/10000
Baja probabilidad de que el defecto llegue al cliente ya que, de producirse, sería detectado por los controles o en fases posteriores del proceso.	2 3	1/5000 1/2000
Moderada probabilidad de que el producto o servicio defectuoso llegue al cliente.	4 5 6	1/1000 1/500 1/200
Alta probabilidad de que el producto o servicio defectuoso llegue al cliente debido a la baja fiabilidad de los controles existentes.	7 8	1/100 1/50
Muy alta probabilidad de que el producto o servicio defectuoso llegue al cliente. Este está latente y no se manifestará en la fase de fabricación del producto.	9 10	1/20 1/10

Tabla 10. Desarrollo AMFE de cucharon
Fuente: Propia

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)									
Componente, pieza, operación	Función	Modo potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	(G)	Causas potenciales de Fallos	(O)	Controles actuales	(D)	NPR
Adaptadores y puntas	Proteger labio	Fractura de punta	Daño a la chancadora primaria (Mantle y Cóncavos inferiores)	8	Defecto de fabricación	6	Magneto	5	240
				8	Sobre carga	7	Magneto	8	448
				8	Mala voladura	3	Magneto	4	96
		Fractura de adaptador	Daño a la chancadora primaria (Mantle y Cóncavos inferiores)	8	Defecto de fabricación	5	Magneto	5	200
				8	Sobre carga	6	Magneto	5	240
				8	Mala voladura	3	Magneto	5	120
		Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	3	Defecto de fabricación	4	Personal mecánico	5	60
				8	Sobre carga	7	Personal mecánico	7	392
Labio	Brinda soporte a los Protectores	Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	9	Desgaste por fricción entre adaptador y labio	9	Personal mecánico	9	729
				9	Ausencia del protector	7	Personal mecánico	5	315

Tabla 11. Desarrollo AMFE de cucharon
Fuente: Propia

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)									
Componente, pieza, operación	Función	Modo potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	(G)	Causas potenciales de Fallos	(O)	Controles actuales	(D)	NPR
Protectores intermedios del labio	Proteger el labio	Fractura del conjunto protector labio	Daño a la chancadora primaria (Mantle y Cóncavos inferiores)	8	Defecto de fabricación	3	Magneto	5	120
				8	Sobre carga	4	Magneto	5	160
				8	Mala voladura	2	Magneto	5	80
		Fractura del elemento de fijación	Daño a la chancadora primaria (Mantle y Cóncavos inferiores)	8	Defecto de fabricación	3	Magneto	5	120
				8	Sobre carga	4	Magneto	5	160
				8	Mala voladura	2	Magneto	5	80
		Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	8	Defecto de fabricación	7	Personal mecánico	5	280
				8	Sobre carga	7	Personal mecánico	6	336

Tabla 12. Desarrollo AMFE de cucharon
Fuente: Propia

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)									
Componente, pieza, operación	Función	Modo potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	(G)	Causas potenciales de Fallos	(O)	Controles actuales	(D)	NPR
Paredes laterales	Cargar el material	Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	9	Recuperación por soldadura defectuosa	6	Personal mecánico	5	270
				9	Ausencia del protector	4	Personal mecánico	5	180
Planchas de desgaste laterales (Liners)	Proteger la plancha lateral	Fractura del conjunto protector lateral	Daño a la chancadora primaria (Mantle y Cóncavos inferiores)	9	Defecto de fabricación – Soldadura	1	Magneto	5	45
				9	Sobre carga	4	Magneto	6	216
				9	Mala voladura	4	Magneto	5	180
		Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	9	Material inadecuado	5	Personal mecánico	5	225
				9	Defecto de fabricación – Soldadura	4	Personal mecánico	5	180
				9	Sobre carga	6	Personal mecánico	5	270

Tabla 13. Desarrollo AMFE de cucharon
Fuente: Propia

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)									
Componente, pieza, operación	Función	Modo potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	(G)	Causas potenciales de Fallos	(O)	Controles actuales	(D)	NPR
Plancha inferior	Parte de la estructura principal	Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	9	Recuperación por soldadura defectuosa	6	Personal mecánico	5	270
				9	Ausencia del protector	7	Personal mecánico	5	315
Planchas de desgaste inferiores (Liners)	Proteger la plancha inferior	Fractura del conjunto protector inferior	Daño a la chancadora primaria (Mantle y Cóncavos inferiores)	9	Defecto de fabricación – Soldadura	4	Magneto	5	180
				9	Sobre carga	4	Magneto	6	216
				9	Mala voladura	3	Magneto	5	135
		Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	9	Material inadecuado	5	Personal mecánico	5	225
				9	Defecto de fabricación – Soldadura	4	Personal mecánico	5	180
				9	Sobre carga	6	Personal mecánico	5	270

Tabla 14. Desarrollo AMFE de cucharon
Fuente: Propia

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)									
Componente, pieza, operación	Función	Modo potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	(G)	Causas potenciales de Fallos	(O)	Controles actuales	(D)	NPR
Interior del cucharon	Parte de la estructura principal	Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	9	Recuperación por soldadura defectuosa	7	Personal mecánico	5	315
Planchas de desgaste del interior del cucharón (Liners)	Proteger la plancha inferior	Fractura del conjunto protector inferior	Daño a la chancadora primaria (Mantle y Cóncavos inferiores)	9	Defecto de fabricación - Soldadura	3	Magneto	5	135
				9	Sobre carga	4	Magneto	6	216
				9	Mala voladura	2	Magneto	5	90
		Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	9	Material inadecuado	4	Personal mecánico	5	180
				9	Defecto de fabricación	5	Personal mecánico	5	225
				9	Sobre carga	6	Personal mecánico	5	270
Orejas	Alojar los pines de articulación	Desgaste del buje	Reducción de disponibilidad del equipo	7	Contaminación por polvo	8	Personal mecánico	6	336
				7	Lubricación inadecuada	6	Personal mecánico	6	252
				7	Material del buje inadecuado	5	Personal mecánico	7	245

Tabla 15. Desarrollo AMFE de cucharon
Fuente: Propia

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)									
Componente, pieza, operación	Función	Modo potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	(G)	Causas potenciales de Fallos	(O)	Controles actuales	(D)	NPR
Puerta	Permite la descarga del material a los vehículos	Desgaste del buje	Reducción de disponibilidad del equipo	7	Contaminación por polvo	7	Personal mecánico	5	245
				7	Lubricación inadecuada	7	Personal mecánico	6	294
				7	Material del buje inadecuado	6	Personal mecánico	6	252
		Fracturas en la puerta	Reducción de disponibilidad del equipo	8	Material inadecuado	4	Personal mecánico	5	160
				8	Mala operación de la pala	6	Personal mecánico	5	240
		Desgaste de elementos protectores (Liners)	Reducción de disponibilidad del equipo	9	Material inadecuado	5	Personal mecánico	5	225
				9	Defecto de fabricación - Soldadura	4	Personal mecánico	5	180
				9	Sobre carga	6	Personal mecánico	5	270
Puerta	Permite la descarga del material a los vehículos	Fractura del conjunto protector inferior	Daño a la chancadora primaria (Mantle y Cóncavos inferiores)	9	Defecto de fabricación - Soldadura	3	Magneto	5	135
				9	Sobre carga	4	Magneto	6	216
				9	Mala voladura	2	Magneto	5	90

Tabla 16. Desarrollo AMFE de cucharon
Fuente: Propia

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)									
Componente, pieza, operación	Función	Modo potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	(G)	Causas potenciales de Fallos	(O)	Controles actuales	(D)	NPR
Latch keeper	Apertura y cierre de la puerta	Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	9	Material inadecuado	4	Personal mecánico	4	144
				9	Defecto de fabricación	5	Personal mecánico	4	180
				9	Sobre carga	6	Personal mecánico	4	216
		Fracturas del conjunto Latch keeper	Reducción de disponibilidad del equipo	8	Material inadecuado	4	Personal mecánico	5	160
				8	Mala operación de la pala	6	Personal mecánico	5	240
Taloneras (conjunto liner)	Proteger la plancha inferior	Fractura de la talonera	Daño a la chancadora primaria (Mantle y Cóncavos inferiores)	9	Defecto de fabricación - Soldadura	1	Magneto	5	45
				9	Sobre carga	4	Magneto	5	180
				9	Mala voladura	3	Magneto	5	135
		Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	9	Material inadecuado	6	Personal mecánico	5	270
				9	Defecto de fabricación	5	Personal mecánico	5	225
				9	Sobre carga	4	Personal mecánico	5	180

4.3 Resumen del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE)

Según la evaluación de los componentes, función, modo de falla y efecto, se obtuvieron los siguientes resultados donde el Labio del Cucharón presenta un NPR más alto respecto a los otros componentes del cucharón.

Tabla 17. Resumen de análisis modo de fallas y efectos
Fuente: Propia

Análisis Modal de Efectos y Fallas (AMFE)					
Resumen de NPR con mayor puntaje					
Ítem	Componente	Función	Modo potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	NPR
1	Labio	Brinda soporte a los protectores	Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	729
2	Adaptadores y puntas	Proteger labio	Fractura de punta	Daño a la chancadora primaria	448
3	Adaptadores y puntas	Proteger labio	Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	392
4	Protectores intermedios del labio	Proteger labio	Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	336
5	Interior del cucharón	Parte de la estructura principal	Desgaste	Reducción de disponibilidad del equipo	315

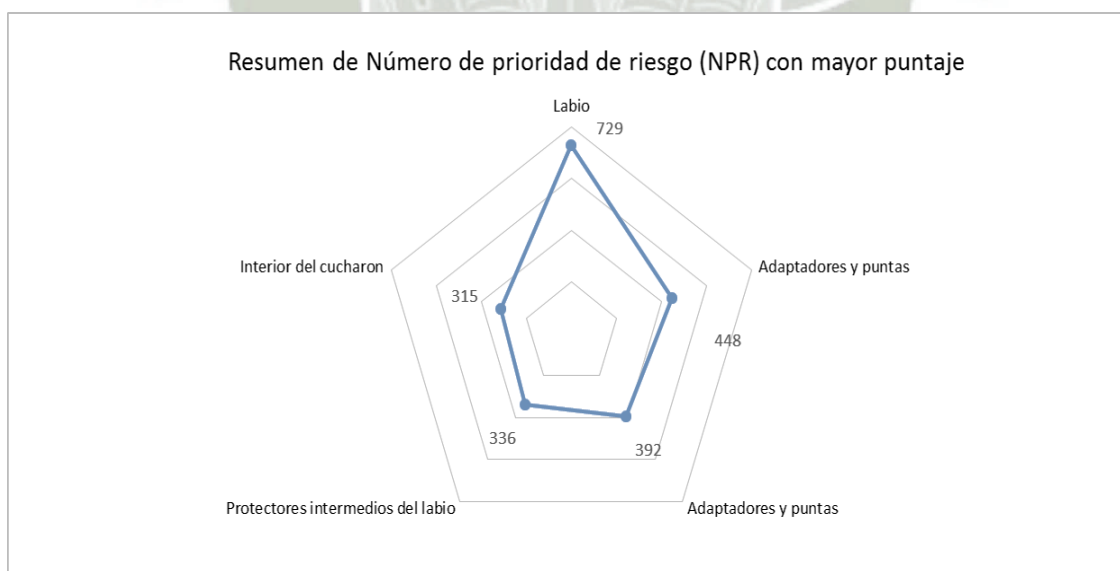


Gráfico 16. Resumen número de prioridad de riesgo
Fuente: Propia

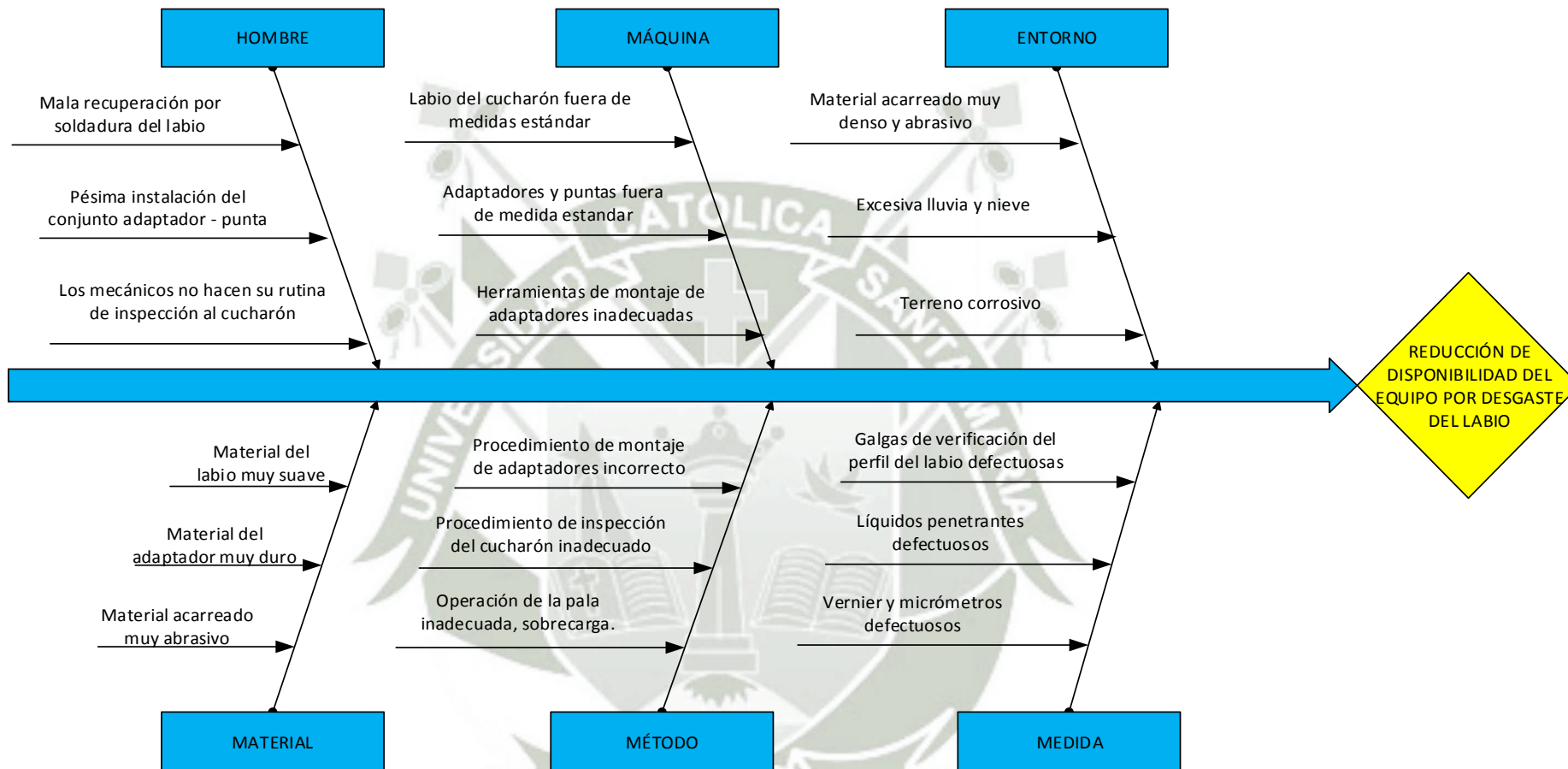


Figura 26. Diagrama Ishikawa de cucharon
Fuente: Propia

CAPITULO V

RECUPERACION DE PUNTA POR SOLDADURA

Se procedió a realizar el relleno de soldadura de una pieza del mismo tipo de aleación que el de una punta de pala, lo que se quería lograr es simular como afectaría un relleno por soldadura de una pala para aumentar su vida útil.

5.1 Material a recuperar

Para realizar nuestro ensayo se reconstruirá una Punta Esco el cual son instalados en el cucharón mediante un pin. Para nuestro ensayo se tomara como referencia el pin ya que su composición química y su dureza son similares a la Punta Esco. Este material tiene las siguientes características indicadas en el anexo 3.

Tabla 18. Características técnicas probeta
Fuente: Datos técnicos productos Esco (Anexo 3)

NRO DE PARTE	70SV2PN-C
DESCRIPCION	SV2 PIN
ALEACION ESCO	12S
DUREZA MINIMA	478 HB
PESO	1.39 lb

Tabla 19. Composición química probeta
Fuente: Datos técnicos productos Esco (Anexo 3)

%C	0.29
%Mn	0.76
%Si	1.29
%Cr	1.83
%Ni	0.29
%Mo	0.26
%S	0.018
%P	0.02
%Al	0.03



Figura 27. Probeta a ensayar
Fuente: Propia

5.2 Material de aporte

Para realizar la reconstrucción por soldadura del material, se basó en la norma del fabricante en este caso Esco, según el fabricante la norma de soldadura empleada para realizar procedimientos de soldeo es la AWS 5.1. Se utilizó el procedimiento SMAW. El procedimiento de reconstrucción de soldadura del fabricante está basada en la norma AWS 5.1 y se encuentra en el anexo 2.

Tabla 20. Soldadura para aleaciones 12S Esco
Fuente: Datos técnicos productos Esco

Aleaciones serie 12 y planchas de acero

SMAW		FCAW		GMAW	
E7016	p/ AWS A5.1	E70T-5	p/ AWS A5.20 * Vea Nota.	ER70S-6	p/ AWS A5.18
E7018	p/ AWS A5.1	E71T-1		ER80S-Ni2	
E7018-C1	p/ AWS A5.1	E71T-1H4			
E8018-C1	p/ AWS A5.1	E80T5-Ni2			
		E71T1-Ni2			
		E70T-5			

Nota: El alambre debe tener el certificado del fabricante para depositar metal soldado con menos de 5 ml / 100g de hidrógeno difuso.

Según norma, se requiere usar electrodos con bajo hidrogeno para realizar el relleno de la pieza. Por ende se realizó el soldeo con electrodo E7018. En este caso emplearemos un SUPERCITO de la marca Soldexa, ya que un medio rápido para realizar la reconstrucción es por medio del proceso SMAW según el anexo 2, nos indica usar un electrodo E7018.

El SUPERCITO es un electrodo revestido de tipo básico, de bajo hidrógeno con extraordinarias características mecánicas y de soldabilidad. Presenta un arco muy suave, bajo nivel de salpicaduras y la escoria es de muy fácil remoción. El

contenido de hierro en polvo mejora su tasa de depósito. Dentro de su categoría es el producto que presenta los mejores niveles de resistencia a la tracción.

5.3 Consideraciones generales

Para el proceso de reconstrucción por soldadura se tendrá en cuenta las siguientes características:

- Se realizara mediante proceso SMAW indicado en las especificaciones de fabricante.
- Se realizara el soldeo mediante la norma AWS 5.1
- Se realizara precalentamiento a 120°C según lo especificado en el manual de fabricante.
- La temperatura entre pases permitido es de 260°C
- No se realizara postcalentamiento según lo que especifica fabricante⁷
- Para el control de temperatura se usara un pirómetro Tempilstik

5.4 Procedimiento

Se realizara relleno de soldadura en un probeta de aleación Esco, el cual será a sometido a soldadura SMAW según los requerimientos de fabricante para controlar la temperatura de precalentamiento se usara un pirómetro Tempilstik de 120°C luego de realizado la soldadura se verificara si tiene imperfecciones y escorias de la soldadura final, se realizara tres cordones. Todo esto se realizó bajo un procedimiento de calidad de soldadura.

5.4.1 Verificación de herramientas e insumos

Para realizar nuestro procedimiento de soldeo, se verifico el buen estado de las siguientes herramientas e insumos:

- La máquina de soldar
- La calidad de las pinza y conectores,
- Se verifico los electrodos
- Verificar las principales herramientas a utilizar tales como:
 - 1) Máquina de soldar
 - 2) Biombo de protección
 - 3) Pirómetro Tempilstik
 - 4) Escobilla de mano de acero
 - 5) Cíncel
 - 6) Martillo de bola



Figura 28. Máquina de soldar SMAW
Fuente: Propia



Figura 29. Probeta a soldar y pirómetro
Fuente: Propia

5.4.2 Pre calentamiento

Se procedió a realizar pre calentamiento de la pieza mediante soldadura autógena hasta alcanzar una temperatura de 120°C. Se realizó el control de temperatura según formato en anexo 2.



Figura 30. Pre calentamiento de pieza
Fuente: Propia

5.4.3 Soldadura

Se procedió a realizar el relleno por soldadura teniendo controlando la temperatura entre pases que no sobrepase los 260°C. Luego de realizado la soldadura se procedió a quitar la escoria y limpiar la soldadura. Se realizó el control de temperatura según formato en anexo 2.



Figura 31. Soldeo de probeta
Fuente: Propia

5.4.4 Enfriamiento

Luego de realizar el soldeo de la pieza se procedió a enfriar al medio ambiente según lo estipulado en las recomendaciones de fabricante.



Figura 32. Probeta reconstruida mediante soldadura
Fuente: Propia

5.4.5 Verificación de la soldadura

Se procedió a verificar si la soldadura presentaba alguna imperfección para descartar la soldadura realizada. Se tuvo en cuenta los siguientes criterios.

- **Discontinuidades lineales.**- No grietas, incluyendo cráteres por falta de material.
- **Porosidades.**- No exceder cuatro agujeros por cada 100 mm (4.0 pulg.)
- **Escoria.**- No escoria visible en ninguna capa.
- **Socavaciones.**- No exceder lo siguiente:

Tabla 21. Socavaciones de soldadura
Fuente: Procesos de soldadura Esco

Picadura máxima	Espesor del Material
0.8 mm (1.32 pulg.)	6 mm – 13 mm (1/4 – 1/2 pulg.)
1.5 mm (1/16 pulg.)	Sobre 13 mm (1/2 pulg.)

- **Sopladura (levantados).**- No exceder 1.5 mm (1.16 pulg.)

Se tiene que verificar los cordones de soldadura si presentan algún defecto de la figura se tiene que descartar el relleno.

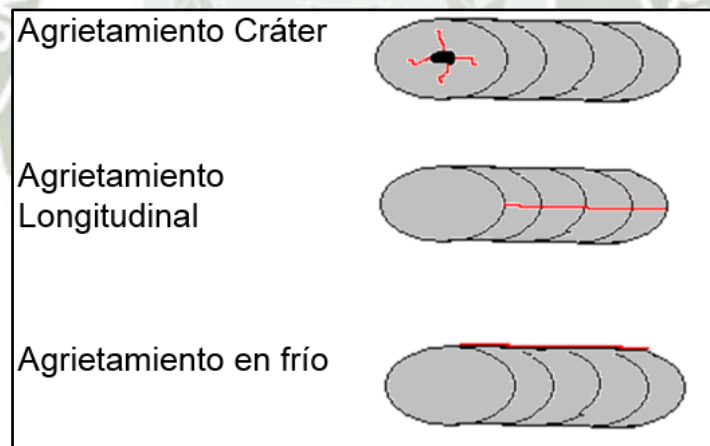


Figura 33. Defectos de soldadura
Fuente: Procesos de soldadura Esco

CAPITULO VI

ENSAYOS DE MATERIALES

Se procedió a analizar una punta de fábrica, soldada y soldada con tratamiento térmico posteriormente se comprobara resultados y mediante un análisis económico se comprobara cual es la opción más factible para la protección del labio de cucharón y por ende aumentar la vida útil del mismo y de su sistema de protección. Todos estos ensayos de materiales se realizaron en el laboratorio de materiales de la Universidad Católica Santa María.

6.1 Procedimiento de ensayos

6.1.1 Dureza

Se realizó nuestra prueba de dureza bajo la norma ASTM E18-03. Se realizó en un durómetro HBRVU-187.5 Brinell Rockwell & Vickers Durómetro Óptico



Figura 34. Durómetro HBRVU-187.5
Fuente: Laboratorio UCSM

6.1.1.1 Probetas a analizar

a) Material de fabricante

Se extrajo cuatro muestras de un pin de la marca Esco de igual aleación al de una punta. No tiene ningún tratamiento ni se encuentra soldada. Se extrajo en una rectificadora y cortadora de hilo CNC.



Figura 35. Material de fábrica para prueba de soldadura
Fuente: Propia

b) Material soldado

Se extrajo una muestra de un pin soldado de la marca Esco de igual aleación al de una punta.



Figura 36. Material reconstruido por soldadura para prueba de dureza
Fuente: Propia

c) Material tratado

Se realizó tratamiento térmico a una muestra de un pin soldado de la marca Esco de igual aleación al de una punta. El ensayo se realizó en una probeta para Charpy



Figura 37. Material reconstruido y tratado térmicamente para prueba de dureza
Fuente: Propia

6.1.1.2 Consideraciones generales

Se consideraron los siguientes parámetros para realizar el ensayo de dureza, según norma:

- La temperatura a que se realiza la prueba 20°C.
- La probeta debe estar apoyada rígidamente para que no se produzcan desplazamientos durante la prueba.
- A través del ensayo, el durómetro debe estar protegido de algún choque o vibración.
- Si se realiza algún cambio de indentador, se debe verificar su adecuado montaje.
- La distancia entre el centro y dos medidas adyacentes, debe ser al menos tres veces mayor al diámetro del indentador
- Se utiliza un penetrador de forma cónica y con punta de diamante, el ángulo en el vértice del cono será de 120° y la terminación del cono será de forma casquete esférico, con un radio de 0,2 mm \pm 0,002 mm.

6.1.1.3 Procedimiento

a) Desbaste de probetas

Se procedió a la limpieza y posterior lijado de nuestras probetas, se buscaba una superficie lisa y sin porosidades, se requiere superficies paralelas para poder realizar el ensayo. Para poder realizar esto, se procedió a lijar nuestras probetas con lija Abralit #80, #100, #120, #300. Se tuvo que realizar un adecuado lijado debido a la dureza del material.



Figura 38. Desbaste de probetas para prueba de dureza
Fuente: Laboratorio UCSM

b) Precarga y carga

Se realizó una precarga de 10 kgf y luego se aplicó una carga de 140 kgf, en total se aplicó una carga de 150 kgf, aplicado para aceros aleados. El durometro se seteo y se procedió a aplicar la precarga y luego la carga.

El tiempo en que debe aplicarse la precarga será de 3 segundos, la carga se incrementa hasta 8 segundos hasta llegar a la fuerza adicional

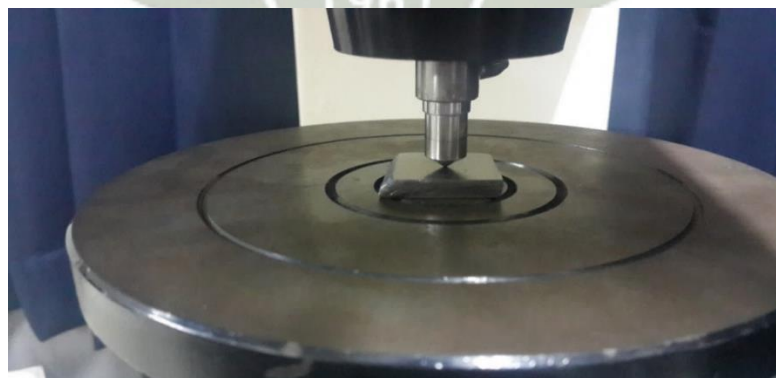


Figura 39. Ensayo de dureza
Fuente: Propia

Tabla 22. Fuerzas empleadas en el ensayo de dureza
Fuente: Norma ASTM E18

Símbolo	Designación	Valor
-	Angulo en la parte superior del indentador de diamante	120°
-	Radio de curvatura en la punta del cono	0.200 mm
P ₀	Fuerza preliminar	10 kgf (98 N)
P ₁	Fuerza adicional	140 kgf (1373 N)
P	Fuerza total aplicada	P ₀ +P ₁ = 10+140 = 150 kgf (1471 N)
-	Profundidad de penetración en la fuerza preliminar	
-	Aumento en la profundidad de penetración en la fuerza adicional	
e	Profundidad de penetración final después de fuerza adicional, el incremento es expresado en unidades de 0.002 mm	
HRC	Dureza Rockwell C	100-e

6.1.2 Metalografía

Para comprobar la microestructura de la pieza de fabrica, se realizo un ensayo de metalografica según norma ASTM E3-01

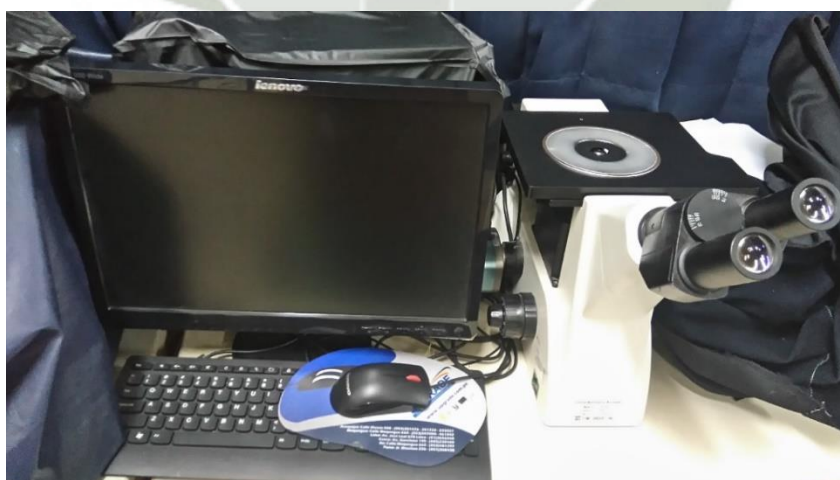


Figura 40. Microscopio electrónico para metalografía
Fuente: Laboratorio UCSM

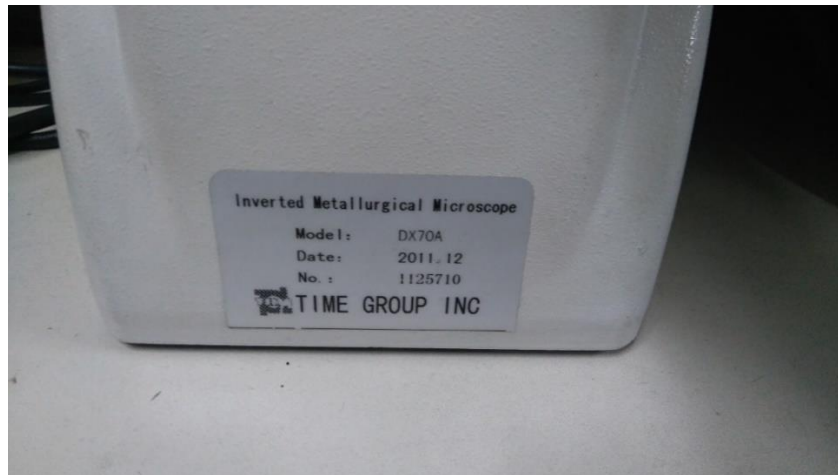


Figura 41. Marca y modelo microscopio electrónico para metalografía
Fuente: Laboratorio UCSM

6.1.2.1 Probetas a analizar

a) Material de fabricante

Se ensayo en una muestra de la pieza de fabrica, se obtuvo mediante rectificadora y cortadora de hilo CNC.



Figura 42. Material de fábrica para ensayo metalográfico
Fuente: Propia

b) Material soldado

Se extrajo una muestra de un pin soldado de la marca Esco de igual aleación al de una punta.



Figura 43. Material reconstruido por soldadura para ensayo metalográfico
Fuente: Propia

c) Material tratado

Se realizó tratamiento térmico a una muestra de un pin soldado de la marca Esco de igual aleación al de una punta. El ensayo se realizó en una probeta para Charpy.



Figura 44. Material reconstruido y tratado térmicamente para ensayo metalográfico
Fuente: Propia

6.1.2.2 Consideraciones generales

Se consideraron los siguientes parámetros para realizar el ensayo metalográfico según norma:

- Para una adecuada inspección las probetas a ensayar no deben ser más de 12 por 25 mm. La altura debe ser la adecuada para poder sujetarlo mientras se pule
- Probetas más grandes son más dificultosas de preparar

- Al momento de cortar la probeta se debe ser lo más cuidadoso para no alterar la microestructura de la probeta. Se puede cortar y ser refrigerado, o un usar una cuchilla abrasiva para una superficie suave.
- Se requiere una buena limpieza durante la preparación de la probeta. Todos los aceites y residuos producto del corte deben ser removidos.
- Si presenta algún revestimiento metálico que interfiere con la zona de inspección debe ser removido.
- Debe ser lijado desde el papel más grueso hasta el más fino, para luego ser pulido.

6.1.2.3 Procedimiento

a) Desbaste grueso

Obtener una superficie lisa y exenta de irregularidades mediante un proceso de desbaste. Para ello se utiliza una serie de papeles de esmeril, ordenados de mayor a menor tamaño de grano, con los que se actúa secuencialmente sobre la superficie. La probeta debe moverse de ida y vuelta a través de la lija. Al pasar de un abrasivo a otro, aumentando el número de lijar, se giró la probeta en 90 grados para proseguir con el desbaste hasta que se borren las huellas del abrasivo anterior, siempre teniendo en cuenta el uso de agua para un mejor acabado y refrigeración.

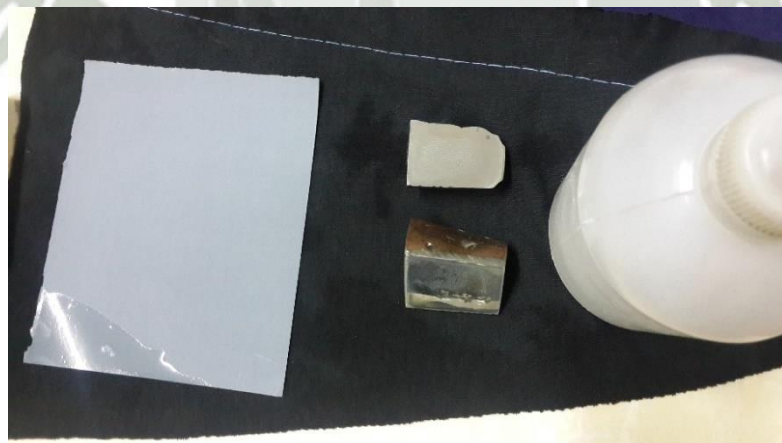


Figura 45. Desbaste grueso de probetas para ensayo metalográfico
Fuente: Laboratorio UCSM

b) Pulido

La última aproximación hacia una superficie plana sin ninguna ralladura se utiliza con una rueda giratoria cubierta con un paño de pulido utilizando una máquina giratoria. Para tal procedimiento se utiliza alúmina cada 30 segundos durante 1

minuto y 30 segundos que estamos puliendo nuestra probeta (en una proporción de 15 gr de alúmina por cada 100 ml de agua). La alúmina cumple la función de lubricar y refrigerar durante el proceso de pulido fino, esto nos dará una adecuada superficie a analizar.

Luego del proceso de pulido con alúmina procedemos a usar agua para mantener una adecuada superficie sin ralladuras, ya que se debe tener una superficie lisa sin inclusiones considerables ni ralladuras, ya que estas ralladuras son conocidas como “colas de cometa” debido a un mal proceso de desbaste y pulido.

Tabla 23. Tipos de pulidos para ensayo metalográfico
Fuente: Norma ASTM E03

Superficie	Lubricante	Tipo de Abrasivo Tamaño ANSI	Tiempo (s)	Fuerza N(lbf) ^A	Plato RPM ^B	Rotación
Papel/piedra lija plano	Agua	120-320 (P120-400) Polvo SiC/Al ₂ O ₃	15-45	20-30 (5-8)	200-300 ^C	CO ^D
Disco rígido de lija fina	Lubricante compatible	6-15 µm diamante	180-300	20-30 (5-8)	100-150	CO
Pulido áspero bajo	Lubricante compatible	3-6 µm diamante	120-300	20-30 (5-8)	100-150	CO
Pulido final	Lubricante compatible	1 µm diamante	60-120	10-20 (3-5)	100-150	CO
Gamuza sintética ^E	Agua	0.04 µm silice coloidal 0.05 µm alumina	30-60	10-20 (3-5)	100-150	CONTRA ^F

A. Fuerza por 30 mm (1/4 in)

B. Energía generalmente entre 25-150 rpm

C. Lijas de alta velocidad generalmente gira a velocidades mayores a 1000 rpm

D. Rotación complementaria

E. Opcional

F. Contra rotación



Figura 46. Pulido de probetas para ensayo metalográfico
Fuente: Laboratorio UCSM



Figura 47. Pulido de probetas para ensayo metalográfico
Fuente: Laboratorio UCSM

c) Ataque químico

Para que se revele la estructura de nuestras probetas se realiza un ataque químico. El cual consiste en una inmersión de nuestras probetas en ácido nítrico. Luego de 10 segundos se procede a utilizar alcohol para que la superficie sea revelada. La proporción del revelador es aproximadamente 95 partes de alcohol etílico con 5 partes de nital.

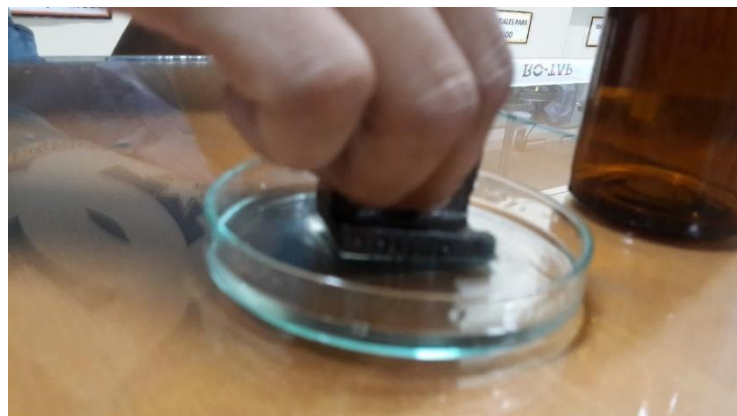


Figura 48. Ataque químico de probetas para ensayo metalográfico
Fuente: Laboratorio UCSM

6.1.3 Ensayo de Charpy

Se realizó ensayo de charpy para verificar la tenacidad de la probeta sin tratamiento ni soldada. El ensayo se realizara a temperatura ambiente aproximadamente 20°C. Se aplicara el ensayo baja norma ASTM E23-96.

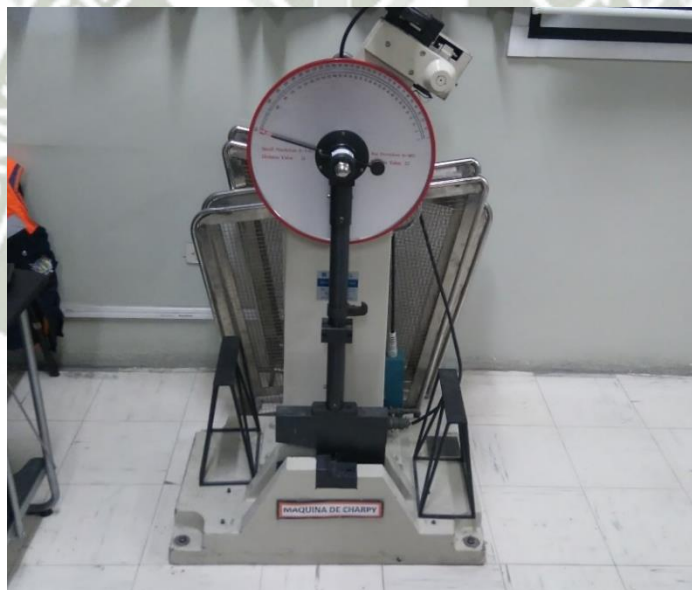


Figura 49. Máquina de ensayo Charpy
Fuente: Laboratorio UCSM

6.1.3.1 Probetas a analizar

a) Material de fabricante

Se extrajo una muestra de pieza de fabrica



Figura 50. Material de fábrica para ensayo de impacto
Fuente: Propia

b) Material soldado

Se extrajo una muestra de un pin soldado de la marca Esco de igual aleación al de una punta.



Figura 51. Material reconstruido por soldadura para ensayo de impacto
Fuente: Propia

c) Material tratado

Se realizó tratamiento térmico a una muestra de un pin soldado de la marca Esco de igual aleación al de una punta. El ensayo se realizó en una probeta para Charpy



Figura 52. Material reconstruido y tratado térmicamente para ensayo de impacto
Fuente: Propia

6.1.3.2 Consideraciones generales

- La máquina de ensayo es un péndulo rígido.
- La máquina debe estar graduada en grados o directamente en energía
- La fricción de la máquina, durante el movimiento, no debe exceder el 0.75% del rango de la escala
- El juego transversal del péndulo no debe exceder 0.75 mm.
- La probeta a ensayar debe tener las medidas según norma.

6.1.3.3 Procedimiento

a) Preparación de la probeta

Se maquinara la pieza para obtener probetas con las medidas adecuadas para realizar el ensayo, se ensayara con una probeta con ranura del tipo A según indica la figura 53.

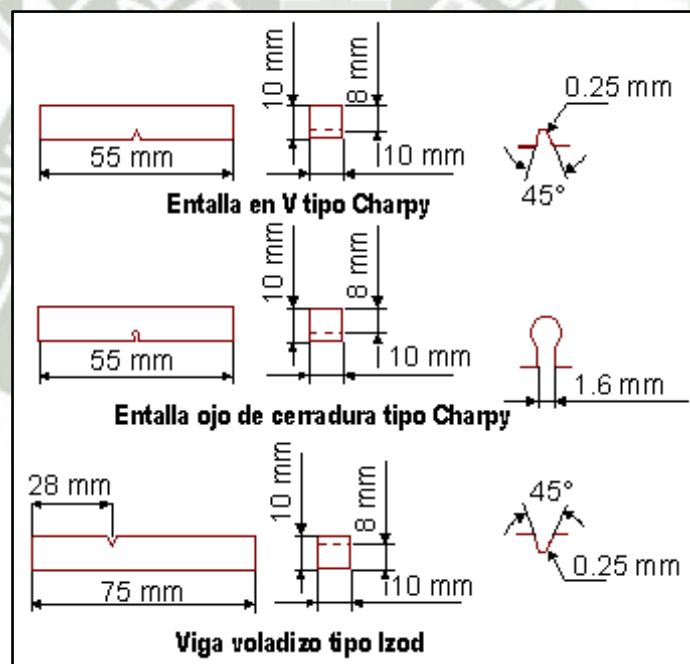


Figura 53. Tipos de Probeta para ensayo de impacto según norma
Fuente: Norma ASTM E23

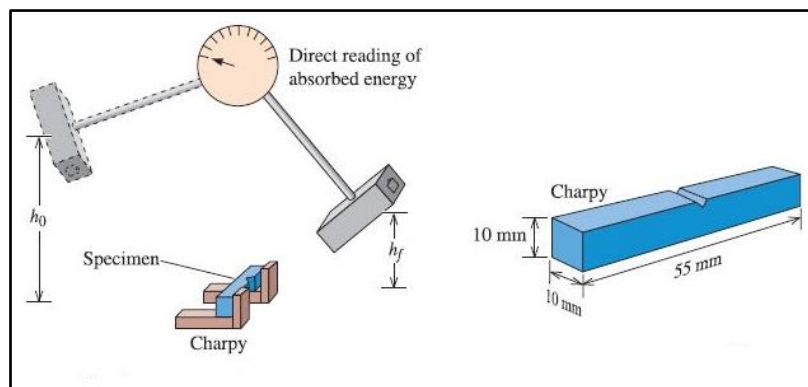


Figura 54. Probeta para ensayo Charpy
Fuente: Norma ASTM E23

b) Verificación de la máquina

Se realizara la verificación de la máquina para el ensayo, según la norma. Para que los resultados sean lo más preciso posible



Figura 55. Verificación máquina de Charpy para ensayo de impacto
Fuente: Laboratorio UCSM

c) Verificar masa de la probeta

Mediante una balanza se procede a medir la masa de la probeta



Figura 56. Medición de masa de probetas para ensayo de impacto
Fuente: Laboratorio UCSM

d) Energía disipada por fricciones (E_f)

Esta energía debe ser medida antes de cada ensayo para esto se deja caer libremente el péndulo sin instalar probetas en los apoyos y se anota la energía mostrada por el indicador

e) Energía cinética (E_k)

Es la energía necesaria para el desplazamiento, se calcula con la siguiente fórmula. Donde m es la masa de la probeta y v es la velocidad de péndulo ($v=5.6$ m/s) (Ecuación 7)

f) Energía mostrada por el indicador (E_i)

Esta energía se obtiene de la medición que nos proporciona el equipo después del ensayo



Figura 57. Probeta a ensayar para impacto
Fuente: Laboratorio UCSM

g) Energía destrucción de probeta (E_r)

Se calcula la energía aproximada usada para la destrucción de la probeta (Ecuación 6)

CAPITULO VII

TEMPLADO Y REVENIDO DE PUNTA RECONSTRUIDA

Para mantener las propiedades mecánicas de nuestra pieza soldada se decidió someter la probeta a un procedimiento de templado y revenido, para recuperar propiedades que se perdió durante el procedimiento de soldadura. Luego se comparara mediante ensayos la mejora de las propiedades mecánicas de nuestra pieza. Estos tratamientos térmicos tanto como de templado y revenido se realizaron en los laboratorios de materiales de la Universidad Católica Santa María.

7.1 Material a templar y revenir

Para realizar nuestro ensayo se analizara una punta Esco previamente reconstruida por soldadura. Nuestra probeta previamente reconstruida por soldadura se someterá a ambos tratamientos, posteriormente se realizara pruebas para verificar sus propiedades mecánicas. Todo este procedimiento se realizó bajo norma ASM Handbook Vol. 4 Steel Heat Treating Fundamentals and Processes

7.2 Consideraciones generales de templado

7.2.1 Medio de temple

La selección de un medio de temple depende de la capacidad de endurecimiento de la aleación particular, el espesor de la sección, la forma de la pieza y las velocidades de enfriamiento necesarias para lograr la microestructura deseada.

Los medios de temple más empleados son los líquidos en este tratamiento no se usara agua ya que es un medio severo de temple, se usara aceite para moderar la tasa de eliminación de calor. En el caso de aceites, se emplean casi exclusivamente los aceites minerales; el calor específico, punto de ebullición, calor de evaporación, conductividad térmica y viscosidad, juegan un papel importante. Un aumento en la viscosidad suele ir acompañado de una elevación del punto de ebullición y disminuye el tiempo de la fase vapor, pero suaviza las condiciones de la fase de convección. En la siguiente figura 58 se observa los medios de temple más empleados según norma

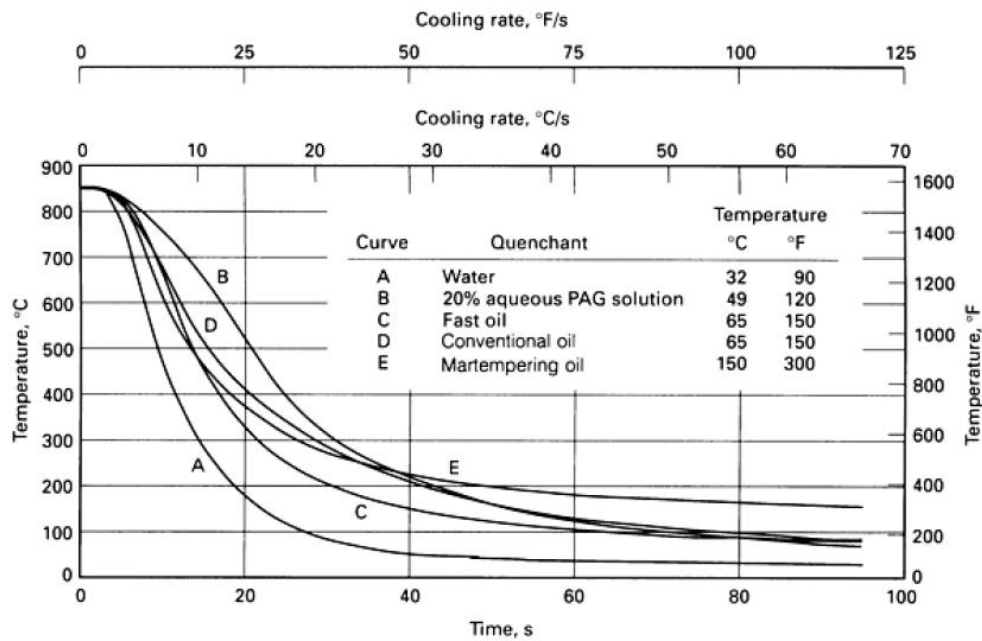


Figura 58. Medios para realizar templado
Fuente: ASM Handbook

7.2.2 Control del aceite

Se tiene que verificar lo siguiente:

- Curva de enfriamiento
- Contenido de agua
- Viscosidad a 40°C
- Velocidad de templado

Se producen tres fases en el enfriamiento con aceite, la de recubrimiento de vapor, la de ebullición y la de convección y conducción.

7.2.3 Sección de la pieza

Se debe verificar la sección de la pieza a tratar ya que la velocidad de enfriamiento decrece cuando aumenta el espesor de la pieza

7.2.4 Duración de templado

Se usara aceite convencional 80W90 para ello se tiene un tiempo aproximado en el cual se debe temprar. Según la ASM indica lo siguiente:

Tabla 24. Tipos de aceite para templado

Fuente: ASM Handbook

Tipo de aceite de templado	Duración de templado a 885°C aprox (s)			
	A 65°C (150°F)	A 120°C (250°F)	A 175°C (350°F)	A 230°C (450°F)
Convencional	14-22	14-22		
Rápido	7-14	7-14		
Martemple sin mejoradores de velocidad	18-34	18-34	22-38	aprox 47
Martemple con mejoradores de velocidad	14-20	13-18	16-22	aprox 33

7.2.5 Dureza obtenida aproximada

La pieza a tratar tiene 0.29%C, la dureza aproximada a lograr según el porcentaje de martensita es el siguiente:

Tabla 25. Dureza HRC aproximada obtenida

Fuente: ASM Handbook

%C	Dureza HRC				
	99%M	95%M	90&M	80%M	50%M
0.28	49.1	45.8	43.4	40	36.4
0.29	49.6	46.4	44	40.6	36.9
0.3	50.3	47	44.6	41.2	37.5

7.3 Consideraciones generales de revenido

La martensita obtenida en el temple tiene elevada dureza, pero lamentablemente, las tensiones alrededor de los átomos de C atrapados en la red cristalina del Fe, producen fragilidad en las piezas templadas. Esto no sólo puede anticipar la fractura en servicio, sino que las partes pueden fisurarse espontáneamente, simplemente estando almacenadas. Es necesario reducir la fragilidad; para ello se las somete a un calentamiento inmediatamente posterior al temple, denominado revenido. Como consecuencia se observará una disminución en la dureza final de las piezas.

7.3.1 Variables que afectan la microestructura y propiedades mecánicas

Son las siguientes variables:

- Temperatura de revenido
- Tiempo en la temperatura
- Velocidad de enfriamiento
- Composición del acero

7.3.2 Temperatura de revenido

El esfuerzo y la elongación decrecen tanto como la temperatura de revenido aumenta. En el ensayo se tendrá una temperatura aproximada de 300°C. Calentando por encima de 650°C, se obtiene estructura de grano grueso, al bajar la temperatura de revenido, se van obteniendo estructuras cada vez más finas y más duras, en términos generales la temperatura de revenido varía entre 200 y 650°C.

7.3.3 Tiempo de revenido

El contenido de carbón y aleantes necesarios para la formación de carburos son dependientes del tiempo y la temperatura. Los cambios en la dureza son aproximadamente lineales sobre una gran porción del tiempo de revenido

7.3.4 Velocidad de enfriamiento

Las propiedades de tracción no se ven afectadas por la velocidad de enfriamiento, la tenacidad puede disminuir si el acero es enfriado lentamente a través de una temperatura desde 375 hasta 575°C

7.3.5 Contenido de carbono

Según la figura 59, se muestra la relación entre el contenido de carbono y la máxima dureza que puede alcanzar

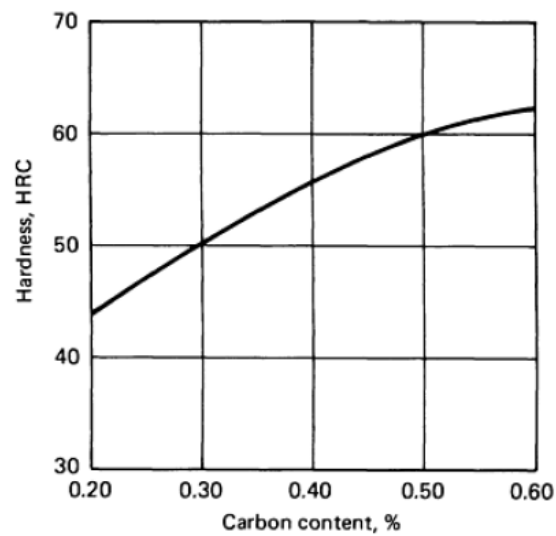


Figura 59. Contenido carbono vs dureza
Fuente: ASM Handbook

7.4 Procedimiento de templeado

7.4.1 Verificación de herramientas y materiales

Para realizar nuestro tratamiento térmico se verifico el buen estado de las siguientes herramientas y materiales:

- Horno refractario
- Pinzas
- Aceite para el enfriamiento



Figura 60. Horno de calentamiento para probetas
Fuente: Laboratorio UCSM



Figura 61. Pinzas para manipular probetas
Fuente: Laboratorio UCSM



Figura 62. Aceite SAE 80W90 usado para templado
Fuente: Laboratorio UCSM

7.4.2 Calentamiento de pieza soldada

Se procedió a calentar el horno a una temperatura aproximada de 900°C , se coloca la pieza y se calienta aproximadamente unos 45 minutos. Esta temperatura de calentamiento se halló en ensayos a una probeta soldada la cual se detalla al final del capítulo



Figura 63. Calentamiento de probeta para templado
Fuente: Laboratorio UCSM

7.4.3 Enfriamiento en aceite

Se retiró la probeta a 900°C y rápidamente se sumergió en un baño de aceite durante unos 14 segundos. Se retiró a una temperatura aproximada de 40°C .



Figura 64. Enfriamiento en aceite para templado
Fuente: Laboratorio UCSM



Figura 65. Enfriamiento en aceite para templado
Fuente: Laboratorio UCSM

7.4.4 Comprobación de dureza

Se procedió a lijar nuestra probeta para someterla a un ensayo de dureza y verificar el incremento de dureza que tuvo tras el templado. Se anotaron los resultados obtenidos



Figura 66. Lijado de probetas para verificar dureza de probeta templada
Fuente: Laboratorio UCSM



Figura 67. Ensayo de dureza de probeta templada
Fuente: Laboratorio UCSM



Figura 68. Probeta templada luego de ensayo de dureza
Fuente: Laboratorio UCSM

7.5 Procedimiento de revenido

7.5.1 Calentamiento de pieza soldada

Se procedió a calentar el horno a una temperatura aproximada de 300°C , se coloca la pieza templada y se calienta aproximadamente unos 30 minutos. Esta temperatura de calentamiento se halló en ensayos a una probeta soldada la cual se detalla al final del capítulo

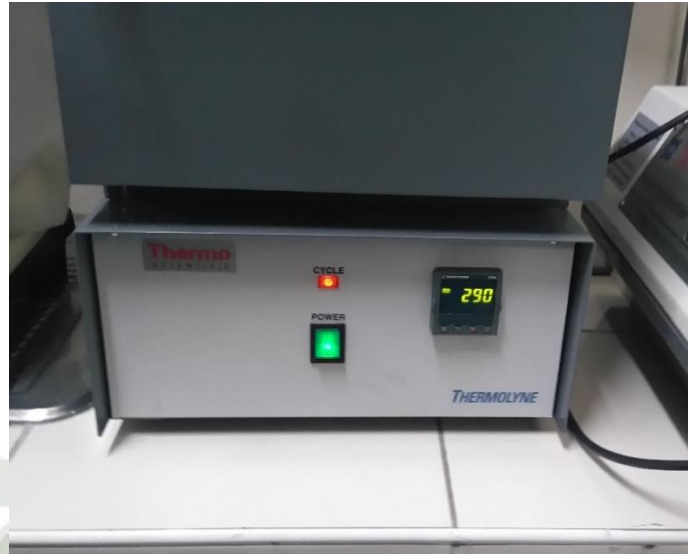


Figura 69. Horno de calentamiento para ensayo de revenido
Fuente: Laboratorio UCSM



Figura 70. Retiro de probeta de horno
Fuente: Laboratorio UCSM

7.5.2 Enfriamiento a temperatura ambiente

Se retiró la probeta a 300°C y se procedió a enfriar al medio ambiente. Se retiró a una temperatura aproximada de 20°C.

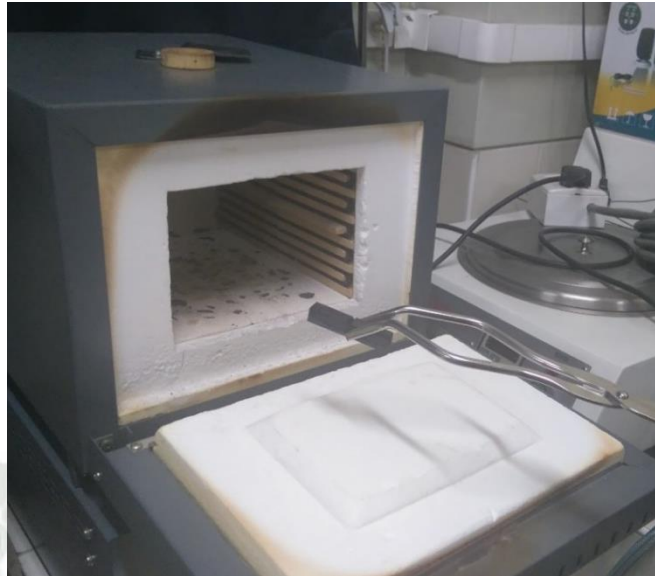


Figura 71. Probeta se enfría a temperatura ambiente
Fuente: Laboratorio UCSM

7.6 Tratamientos térmicos en probeta de prueba

Se buscó una adecuada temperatura de templado y revenido para llegar a la dureza y microestructura deseada, es decir una dureza aproximada de 51 HRC y una microestructura martensítica. Este procedimiento hallado servirá para realizar tratamiento a las diferentes probetas para ensayos. Se utilizó dos probetas de la pieza soldada para verificar un adecuado tratamiento térmico de temple y revenido a una adecuada temperatura. Para usar este procedimiento en el tratamiento térmico de nuestras probetas que serán ensayadas en impacto y dureza.

7.6.1 Prueba 1

Se utilizó la siguiente probeta para el análisis de prueba



Figura 72. Probeta 1 para verificación de dureza
Fuente: Propia

a) Templado

Se procedió a templar a 900°C durante 45 minutos, luego se enfrió en aceite y se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 26. Durezas obtenidas de probeta 1 luego del templado

Fuente: Propia

Indentacion	HRC
1	55
2	53
3	54.5
4	52
5	51

Dureza promedio = 53.1 HRC

b) Revenido

Se procedió a realizar revenido a 450°C durante 30 minutos y se dejó enfriar al medio ambiente se obtuvo los siguientes resultados

Tabla 27. Durezas obtenidas de probeta 1 luego del revenido

Fuente: Propia

Indentacion	HRC
1	48
2	47
3	46.5
4	44
5	45

Dureza promedio = 46.1 HRC (No OK)

7.6.2 Prueba 2

Se utilizó una segunda probeta para el análisis de prueba

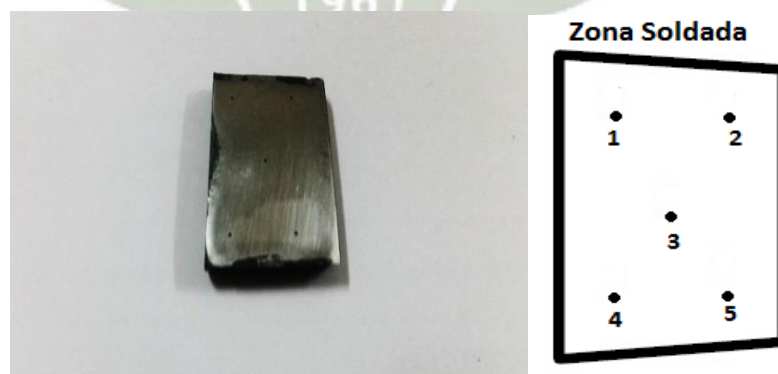


Figura 73. Probeta 2 para verificación de dureza

Fuente: Propia

a) Templado

Se procedió a templar a 900°C durante 45 minutos, luego se enfrió en aceite y se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 28. Durezas obtenidas de probeta 2 luego del templado

Fuente: Propia

Indentacion	HRC
1	55
2	54
3	53
4	51
5	53

*Dureza promedio = 53.2 HRC***b) Revenido**

Se procedió a realizar revenido a 300°C durante 30 minutos y se dejó enfriar al medio ambiente se obtuvo los siguientes resultados

Tabla 29. Durezas obtenidas de probeta 2 luego del revenido

Fuente: Propia

Indentacion	HRC
1	52
2	52
3	50
4	52
5	51

Dureza promedio = 51.4 HRC (OK)

Se verifico que el procedimiento de la segunda prueba es la correcta para el tratamiento de las probetas que ensayaremos

CAPITULO VIII

RESULTADOS

Se realizó ensayo de dureza, metalografía y de charpy a los tres tipos de probetas que se requiere comparar. Se analizara una pieza de fabricante, una pieza soldada simulando la reconstrucción por soldadura y al final se analizara una pieza soldada y luego sometida a tratamientos térmicos para mejorar sus propiedades. Se analizara sus resultados y se comparara

8.1 Ensayo de dureza

Se utilizara el procedimiento descrito en el capítulo VI

8.1.1 Material de fabricante

Se realizó ensayo de dureza en una probeta de fabricante sin soldar y tratamiento se obtuvieron los siguientes resultados



Figura 74. Probetas de material de fábrica para ensayo de dureza
Fuente: Propia

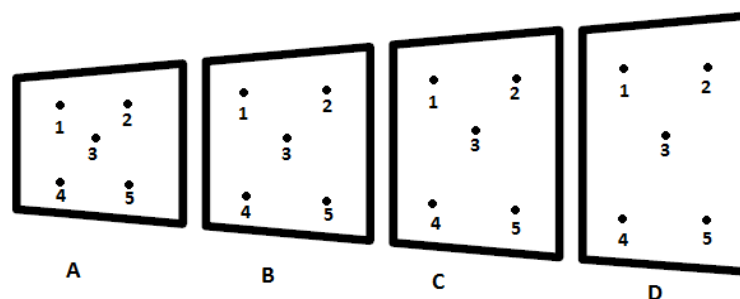


Gráfico 17. Plano de indentaciones de probeta de material de fábrica
Fuente: Propia

Tabla 30. Resultados ensayo de dureza probetas de material de fábrica
Fuente: Propia

Probeta A		Probeta B		Probeta C		Probeta D	
Nro.	Resultado (HRC)	Nro.	Resultado (HRC)	Nro.	Resultado (HRC)	Nro.	Resultado (HRC)
1	50.5	1	52.5	1	51	1	52
2	51.5	2	51	2	51	2	50
3	51.5	3	50	3	51	3	51
4	52	4	51.5	4	51	4	51
5	52.5	5	51	5	52	5	52

Dureza promedio de la prueba = 51.3 HRC

$$51.3 \text{ HRC} = 504 \text{ HRB}$$

Cumple con especificación de fábrica cuya especificación es que su dureza mínima es de 477 HB

8.1.2 Material soldado

Se realizó ensayo de dureza en una probeta de fabricante con relleno con soldadura se obtuvo los siguientes resultados



Figura 75. Probetas soldadas para ensayo de dureza
Fuente: Propia

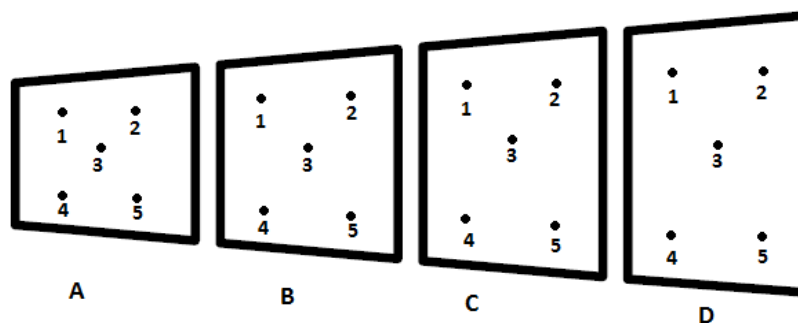


Gráfico 18. Plano de indentaciones de probetas soldadas
Fuente: Propia

Tabla 31. Resultados ensayo de dureza de probetas soldadas
Fuente: Propia

Probeta A		Probeta B		Probeta C		Probeta D	
Nro.	Resultado (HRC)	Nro.	Resultado (HRC)	Nro.	Resultado (HRC)	Nro.	Resultado (HRC)
1	47	1	47	1	45	1	45
2	41	2	44	2	45	2	48
3	50	3	46.5	3	49.5	3	54
4	49	4	51	4	51	4	54
5	51	5	51	5	52	5	53

Dureza promedio de la prueba = 48.7 HRC

$$48.7 \text{ HRC} = 451 \text{ HRB}$$

8.1.3 Material tratado

Se realizó ensayo de dureza en una probeta de fabricante con relleno con soldadura y luego de realizar tratamiento térmico. Se ensayó en una probeta de charpy se obtuvieron los siguientes resultados



Figura 76. Probeta soldada y tratada térmicamente para ensayo de dureza
Fuente: Propia

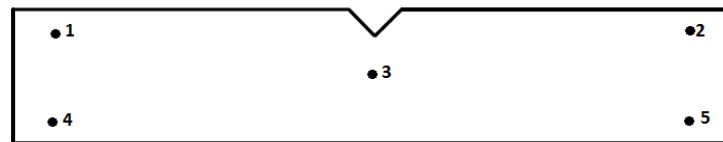


Gráfico 19. Plano de indentaciones de probeta soldada y tratada térmicamente
Fuente: Propia

Tabla 32. Resultado de ensayo de dureza de probeta soldada y tratada térmicamente
Fuente: Propia

Indentacion	HRC
1	49.5
2	48
3	53
4	53
5	52.5

Dureza promedio de la prueba = 51.2 HRC

$$51.2 \text{ HRC} = 503 \text{ HRB}$$

8.1.4 Resumen

Se pudo observar en los tres ensayos de dureza que hubo una disminución de la dureza cuando se reconstruyó la pieza con soldadura según lo estipulado por el fabricante. Este procedimiento es el usado al realizar una reconstrucción por soldadura, pero disminuye la dureza. Luego de realizar un tratamiento térmico de temple y revenido vemos que esta dureza mejora e incluso llega a una dureza similar a la dureza de la pieza de fabricante. Es decir, por medio de la reconstrucción por soldadura y utilizando un tratamiento térmico podemos otorgarle a la punta una dureza similar a la de fábrica.

8.2 Ensayo metalográfico

Se utilizara el procedimiento descrito en el capítulo VI

8.2.1 Material del fabricante

En la figura 77 se observa una estructura martensítica / bainita, el cual otorga excelente propiedades mecánicas a la punta

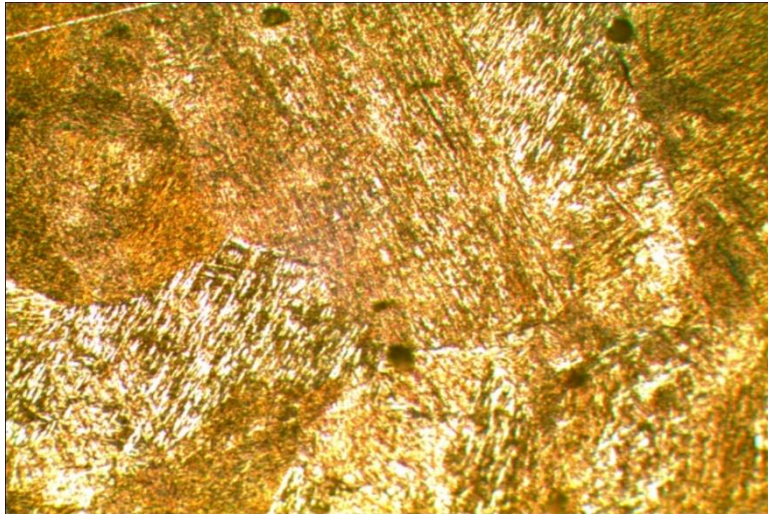


Figura 77. Estructura material de fabricante
Fuente: Laboratorio UCSM

8.2.2 Material soldado

En la figura 78 se observa una red perlítica en la zona afectada por calor. En la figura 79 se observa una estructura similar a la de la probeta sin soldar, es decir una estructura martensítica / bainita, el cual otorga excelente propiedades mecánicas a la punta

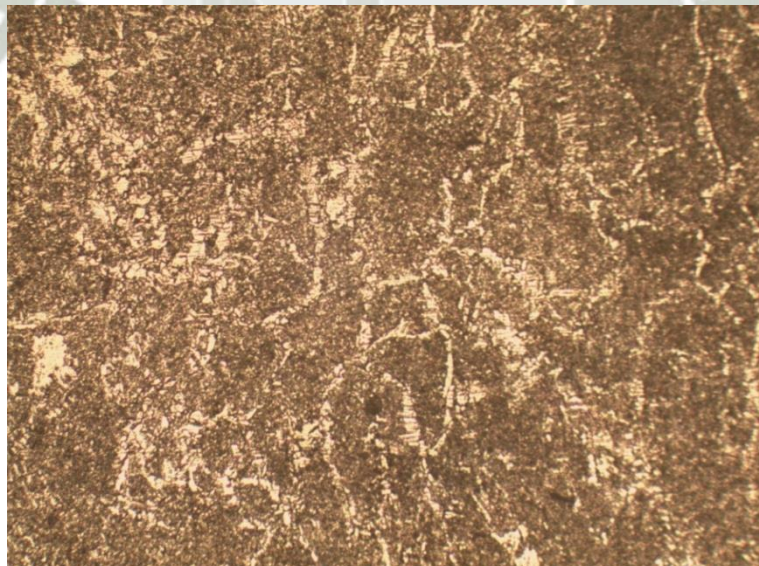


Figura 78. Estructura perlítica de material de fabricante
Fuente: Laboratorio UCSM

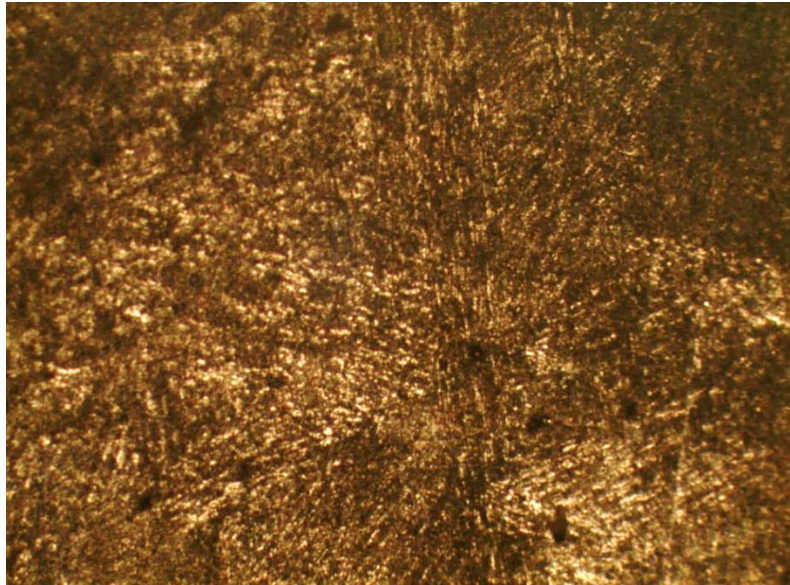


Figura 79. Estructura martensítica/bainita de material de fabricante
Fuente: Laboratorio UCSM

8.2.3 Material tratado

En la figura 80 se observa la estructura hallada luego de tratamiento térmico a la probeta soldada se vio una mejora en la microestructura, en toda la probeta se observa una estructura martensítica /bainita

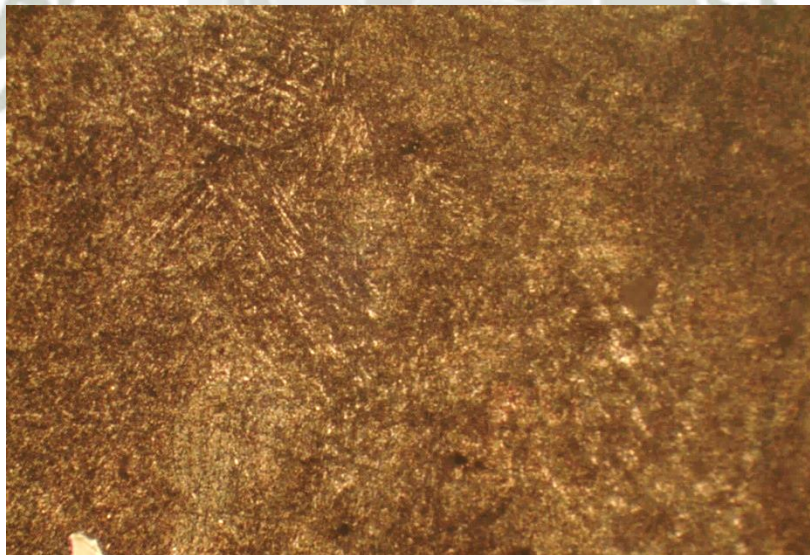


Figura 80. Estructura de material tratado térmicamente
Fuente: Laboratorio UCSM

8.2.4 Resumen

La pieza de fábrica tiene una microestructura formada básicamente de martensita y bainita lo cual le confiere excelentes propiedades mecánicas estos microconstituyentes otorgan buenas características a la punta para poder resistir tanto la abrasión como el impacto. Luego de realizar reconstrucción por soldadura vemos que en la zona afectada por el calor se crea una zona donde el principal microconstituyente es perlita, la cual la perlita otorga una resistencia a la tracción y una dureza menor a la martensita/bainita lo cual generaría que una punta reconstruida dure poco. Luego de un tratamiento térmico de temple y revenido vemos que la microestructura se vuelve martensita con incrustaciones bainita es decir se recupera las características iniciales de fábrica y por ende sus propiedades mecánicas.

8.3 Ensayo de charpy

Se utilizara el procedimiento descrito en el capítulo VI. Se usara una velocidad de 5.6 m/s para los cálculos.

8.3.1 Material de fabricante

Se obtuvo los siguientes resultados del ensayo de impacto



Figura 81. Masa de probeta de material de fábrica
Fuente: Laboratorio UCSM

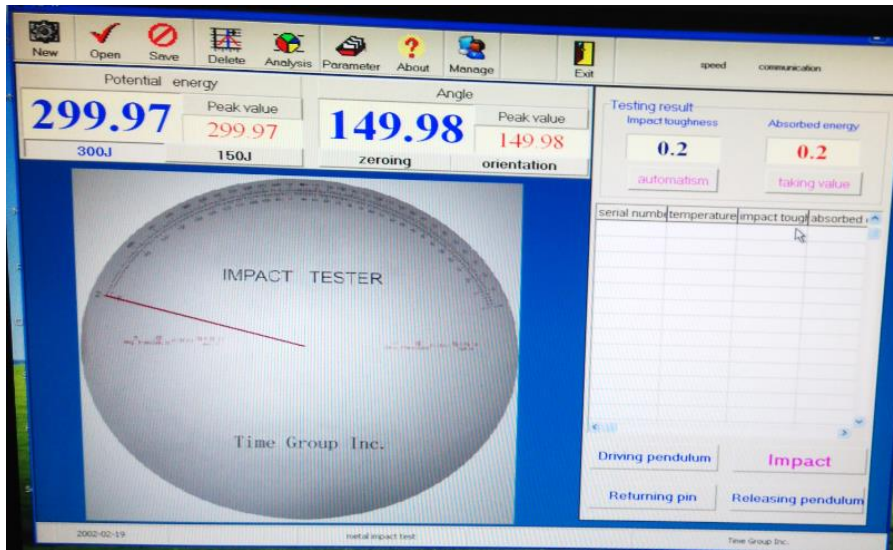


Figura 82. Energía por fricción material de fábrica
Fuente: Laboratorio UCSM

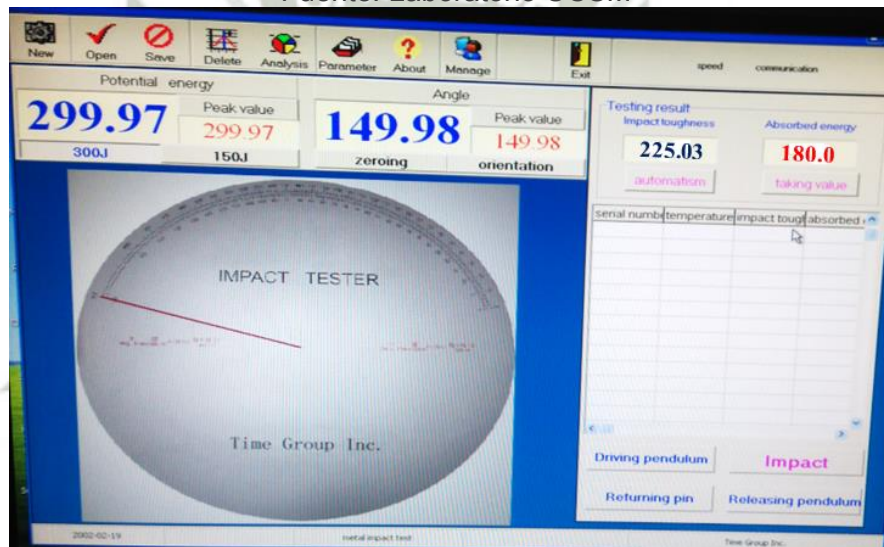


Figura 83. Energía mostrada por el indicador de material de fábrica
Fuente: Laboratorio UCSM

Tabla 33. Resultados ensayo de Charpy material de fábrica
Fuente: Laboratorio UCSM

Masa (kg)	Ef Energía disipada por fricciones (J)	Ek Energía cinética (J)	Ei Energía mostrada por el indicador (J)	Er Energía de destrucción de la probeta (J)
0.04291	0.20	0.67	180.00	179.13

8.3.2 Material Soldado

Se obtuvo los siguientes resultados del ensayo de impacto



Figura 84. Masa de la probeta soldada
Fuente: Laboratorio UCSM

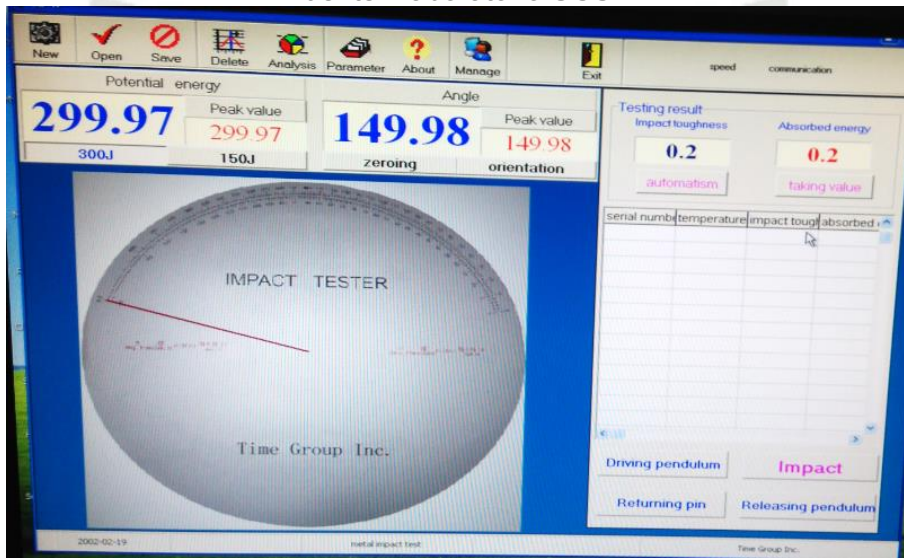


Figura 85. Energía por fricciones de probeta soldada
Fuente: Laboratorio UCSM

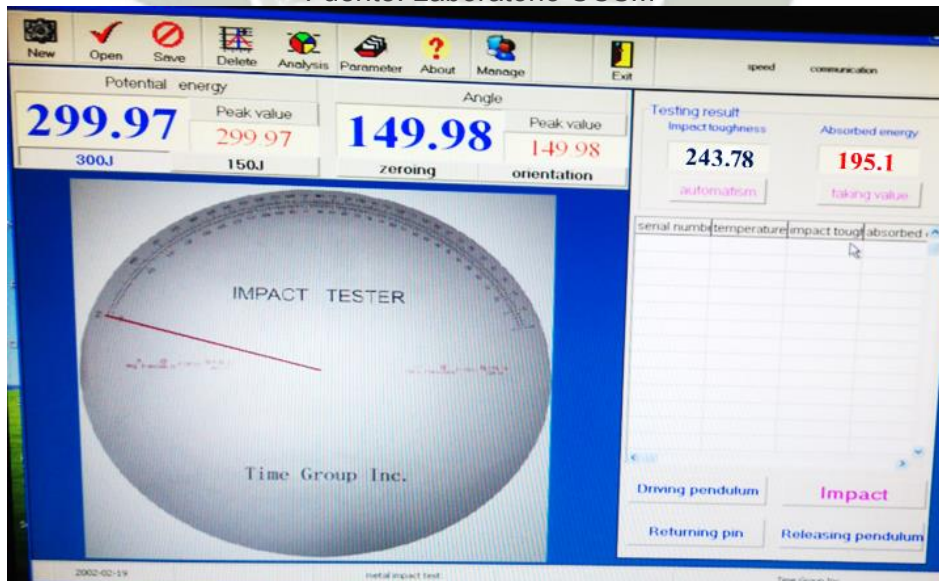


Figura 86. Energía mostrada por el indicador de probeta soldada
Fuente: Laboratorio UCSM

Tabla 34 Resultados ensayo de Charpy de probeta soldada
Fuente: Propia

Masa (kg)	Ef Energía disipada por fricciones (J)	Ek Energía cinética (J)	Ei Energía mostrada por el indicador (J)	Er Energía de destrucción de la probeta (J)
0.04291	0.20	0.67	195.10	194.23

8.3.3 Material tratado

Se obtuvo los siguientes resultados del ensayo de impacto



Figura 87. Masa de la probeta soldada y tratada térmicamente
Fuente: Laboratorio UCSM

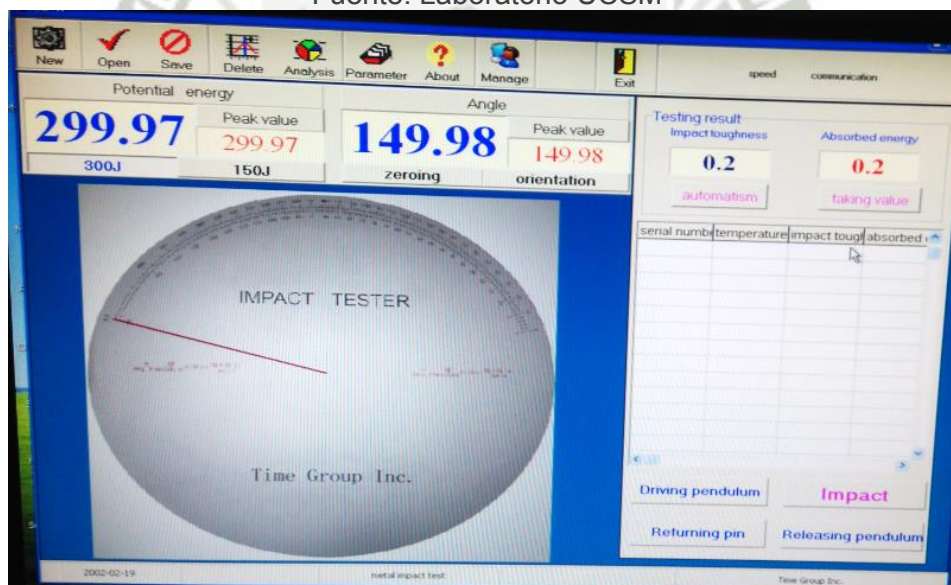


Figura 88. Energía por fricciones de probeta soldada y tratada térmicamente
Fuente: Laboratorio UCSM

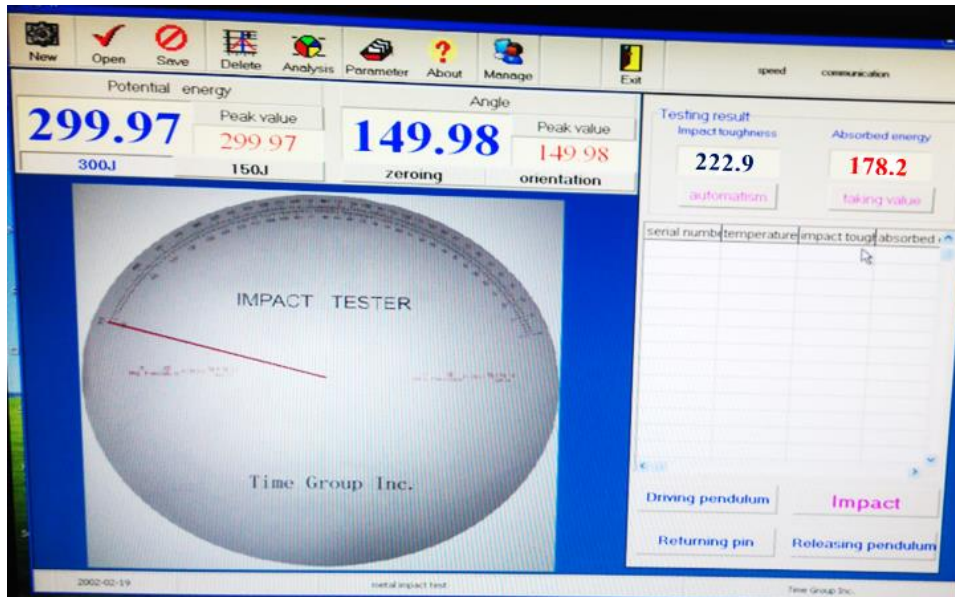


Figura 89. Energía mostrada por el indicador de probeta soldada y tratada térmicamente

Fuente: Laboratorio UCSM

Tabla 35. Resultados ensayo de Charpy material soldado y tratado

Fuente: Propia

Masa (kg)	Ef Energía disipada por fricciones (J)	Ek Energía cinética (J)	Ei Energía mostrada por el indicador (J)	Er Energía de destrucción de la probeta (J)
0.04233	0.20	0.66	178.20	177.34

8.3.4 Resumen

Todas las pruebas se realizaron a temperatura ambiente es decir a 20°C, al realizar la prueba de Charpy en la pieza de fabricante se obtuvo como energía de destrucción de la probeta aproximadamente 179.13 J, se realizó el mismo procedimiento en una probeta soldada y se obtuvo una energía de 194.23 J, es decir la tenacidad aumento se volvió la probeta más resistente al impacto pero a la vez más frágil esto se ve reflejado en la disminución de la dureza. Después de realizar tratamiento térmico de templado y revenido se vio que la tenacidad disminuyo hasta 177.34 J un valor aproximado al valor de fábrica, es decir disminuyo la tenacidad y aumento la dureza.

8.4 Análisis de zona de ruptura

Luego de realizado nuestro ensayo de Charpy en las tres piezas (fabricante, soldada, soldada con tratamiento) se procedió a realizar un análisis de la zona donde se produjo la fractura durante el ensayo de Charpy. A partir del análisis fractográfico se pueden determinar los caracteres morfológicos de las superficies de rotura, que permitan determinar el mecanismo de iniciación, forma de propagación y consumación de la rotura.

a) Fractura Dúctil

La fractura dúctil se caracteriza por la rotura de un componente acompañado de una apreciable deformación plástica y de un considerable consumo de energía.

La grieta se propaga de manera estable hasta la rotura y con una velocidad relativamente lenta (< 6 m/s).

La fractura dúctil tiene una apariencia macroscópica fibrosa, grisácea y puede presentar una superficie plana o una superficie inclinada respecto a la dirección de aplicación de los esfuerzos máximos.

b) Fractura frágil

La fractura frágil se caracteriza por una rápida propagación de la grieta sin apreciable deformación plástica y por un menor consumo de energía comparada con la fractura dúctil. Las superficies de fractura frágil tienen una apariencia brillante, granular con poca o ninguna estricción.

8.4.1 Material de fabricante

Se analizó la zona de ruptura de la probeta de material de fabricante



Figura 90. Ruptura de material de fabricante
Fuente: Propia

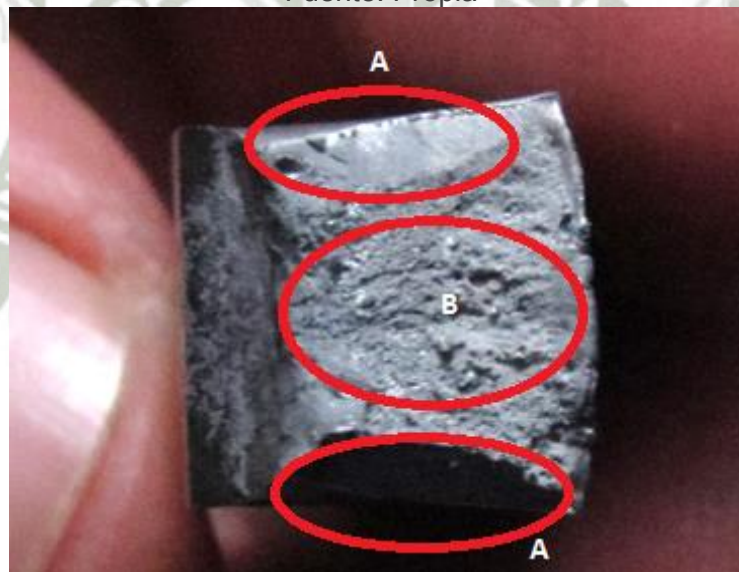


Figura 91 Análisis de zona de ruptura de material de fabricante
Fuente: Propia

La probeta de fabricante al momento de recibir el golpe por la máquina de Charpy se observa lo siguiente:

- En las zonas A se ve un comportamiento frágil es decir la fractura inicio en las zonas A y acabo en la zona B en la que se aprecia una fractura del tipo dúctil. En las zonas A se observa unas crestas indicio de una fractura frágil

8.4.2 Material soldado

Se analizó la zona de ruptura de la probeta soldada



Figura 92. Ruptura de material soldado
Fuente: Propia

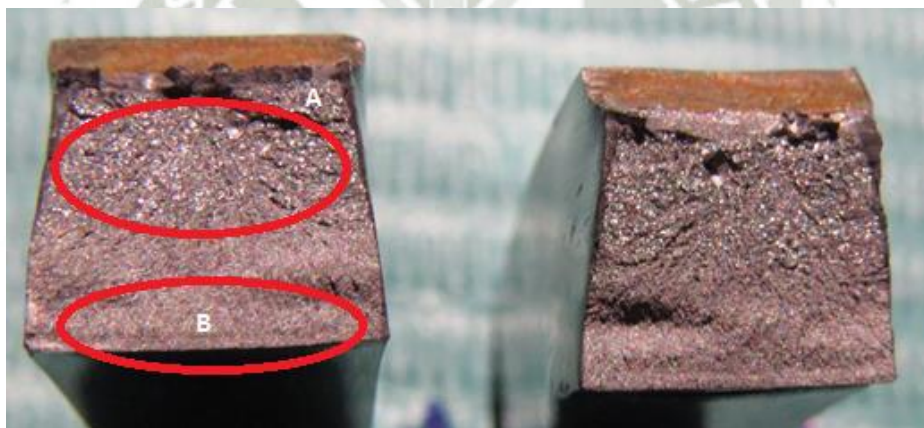


Figura 93. Análisis de zona de ruptura de material soldado
Fuente: Propia

La probeta soldada al momento de recibir el golpe por la máquina de Charpy se observa lo siguiente:

- En las zonas A se ve un comportamiento frágil es decir la fractura inicio en las zonas A y acabo en la zona B en la que se aprecia una fractura del tipo dúctil. La zona A se ve que es una superficie reflectiva a la luz una de las características de una fractura frágil.

8.4.3 Material tratado

Se analizó la zona de ruptura de la probeta soldada y tratada térmicamente



Figura 94. Ruptura de material soldado y tratado
Fuente: Propia

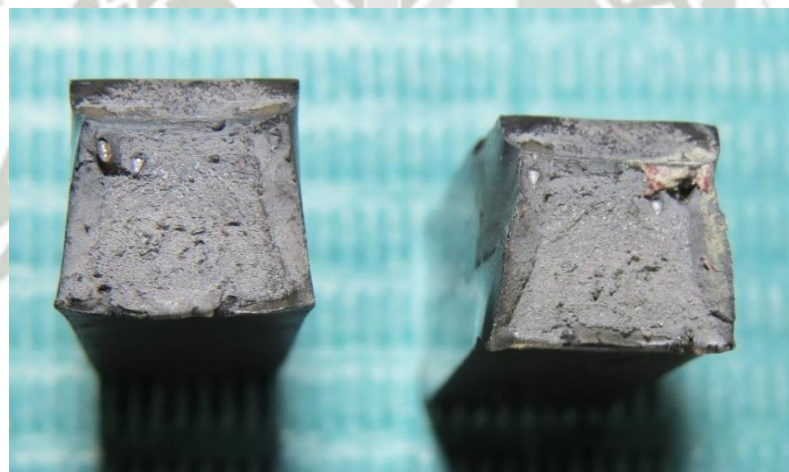


Figura 95. Análisis de zona de ruptura de material soldado y tratado
Fuente: Propia

La probeta soldada y con tratamiento térmico al momento de recibir el golpe por la máquina de Charpy se observa lo siguiente:

- Se tiene un comportamiento dúctil de la fractura por su aspecto rugoso y grisáceo.

8.4.4 Causas comunes de fracturas dúctiles y frágiles

a) Dúctil

- Subdimensionamiento del componente
- Bajas propiedades mecánicas del material
- Proceso de fabricación inadecuado
- Materiales defectuosos
- Sobre esfuerzos mecánicos

b) Frágil

- Entalles: discontinuidades causadas por cambios de sección, defectos de mecanizado o daños en servicio (rayado)
- Defectos del material: pliegues, laminaciones, grandes inclusiones no metálicas, defectos de forja, etc.
- Segregaciones, inclusiones, microestructuras indeseables, presencia de fases secundarias, etc.
- Fisuras resultantes de tratamientos térmicos, presencia de hidrógeno, debidas a corrosión

CAPITULO IX

EVALUACION ECONOMICA

Se analizara el impacto económico tanto de un sistema de puntas nuevas y un sistema de puntas reparadas y tratadas térmicamente, para verificar cual tiene mejor rendimiento económico por días y una mejor ganancia anual. Luego de realizar ensayos mecánicos se verifico que la pieza reconstruida y con tratamiento térmico puede llegar a características similares a una pieza nueva.

Para esto analizaremos los costos concernientes a la instalación de puntas nuevas y al costo que genera reparar puntas usadas y cual es más factible económicamente

9.1 Costos de instalación puntas nuevas

En el cuadro siguiente se muestra los precios según fabricante Esco de una punta nueva, todas las puntas se encuentran en los almacenes de Ransa ubicado en Lima, lo cual al traer a mina genera un flete por el traslado, el cual este flete se añade al precio de la punta en sí. Adicionalmente se muestra precio de venta y de flete tanto del adaptador de la punta como del wearcup (protector de adaptador). El sistema que tiene la pala P&H 4100 XPC es un sistema SV2 ideal para minería a gran escala. El coste de una punta nueva es \$ 1079.87.

Precios de fabricante se encuentra en anexo 9.

Precios de fletes aproximados obtenidos de SMCV.

Tabla 36. Costo de un sistema de puntas ESCO - Puesto en almacén Ransa (Lima)
Fuente: Propia

ITEM	Descripción	Precio Unt. \$	Cantidad	Parcial \$
1	Punta 85SV2RMX	1046.54	1	1046.54
2	Adaptador WHP600W02-85SV2	6909.25	1	6909.25
3	Wear cup WC185	338.99	1	338.99

Tabla 37. Flete Lima - Arequipa SMCV
Fuente: Propia

ITEM	Descripción	Precio Unt. \$	Cantidad	Parcial \$
1	Punta 85SV2RMX	33.33	1	33.33
2	Adaptador WHP600W02-85SV2	33.33	1	33.33
3	Wear cup WC185	33.33	1	33.33

Tabla 38. Costo de un sistema de puntas Esco
Fuente: Propia

COSTO SISTEMA ESCO – INCLUIDO FLETE				
ITEM	Descripción	Precio Unt. \$	Cantidad	Parcial \$
1	Punta 85SV2RMX	1079.87	1	1079.87
2	Adaptador WHP600W02-85SV2	6942.58	1	6942.58
3	Wear cup WC185	372.32	1	372.32

El costo de una punta nueva 85SV2RMX puesto en mina es de \$1079.87

9.2 Costo de reparación de punta

9.2.1 Costo de recuperación por soldadura

Se realizó un análisis de los costos que involucra reparar una punta. Se analizó según consumibles, máquinas y equipos a usar, herramientas, equipo de protección personal y sueldo de personal. Los costos en detalle se adjuntan en el anexo 9, se tiene el cuadro resumen siguiente de los costos que involucran recuperar mediante soldadura a una punta desgastada.

Tabla 39. Costo de reparación de punta
Fuente: Propia

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO		REPARACIÓN DE PUNTA 85SV2RMX
PARTIDA	CONCEPTO	IMPORTE USD\$
1	COSTO DE REMUNERACION DEL PERSONAL	35.53
2	CONSUMIBLES	68.56
3	COSTOS DE MAQUINAS Y EQUIPOS	3.57
4	COSTOS DE HERRAMIENTAS	0.11
5	COSTOS DE EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL	1.13
		\$108.91

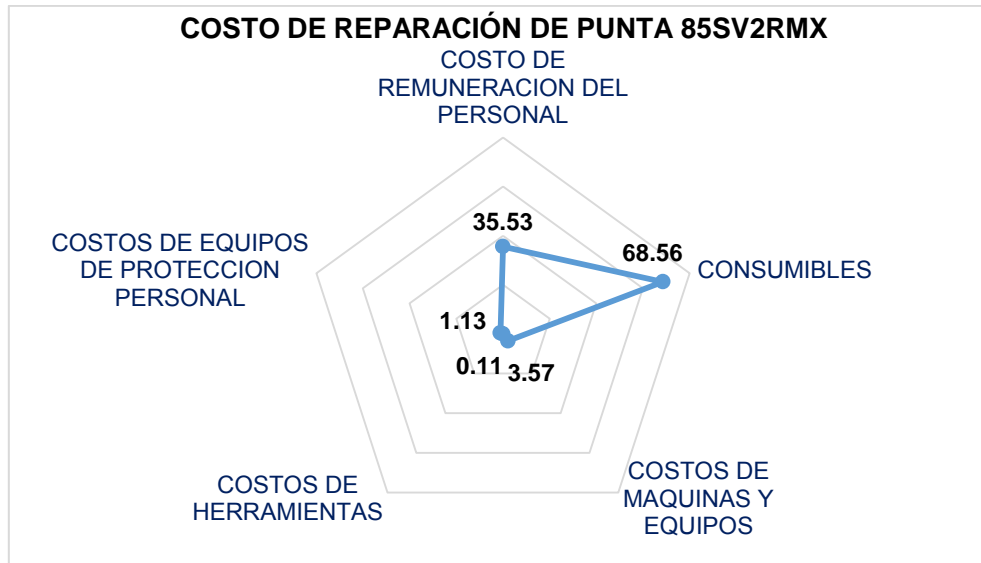


Gráfico 20. Costos de reparación de punta
Fuente: Propia

9.2.2 Costo tratamiento térmico de punta

Se analizó los gastos que involucra el realizar tratamiento térmico de templado y revenido a la punta, se comparó con dos empresas que realizan este tipo de tratamientos Aceros del Perú y Bohler. Ambas se cotizan según el peso del material, teniendo un precio base por kilo de acero a tratar el cual se detallan en los cuadros siguientes, el precio obtenido es para una punta a tratar, se observa que realizar tratamiento térmico de templado y revenido en la empresa Aceros del Perú tiene un menor costo. Ambas cotizaciones se encuentran en el anexo 9.

Tabla 40. Costo del tratamiento térmico de una punta "Templado y Revenido" -
Empresa Bohler
Fuente: Propia

Descripción	Peso Kg.	Precio Unt. \$/kg	Cantidad	Parcial \$
Punta 85SV2RMX	108	3.32	1	358.56

Tabla 41. Costo del tratamiento térmico de una punta "Templado y Revenido" -
Aceros del Perú
Fuente: Propia

Descripción	Peso Kg.	Precio Unt. \$/kg	Cantidad	Parcial \$
Punta 85SV2RMX	108	2.74	1	295.92

Se considerara también los fletes por envío desde la mina a Lima y de Lima a mina para realizar el tratamiento térmico en la empresa Aceros del Perú.

Precios de fletes aproximados obtenidos de SMCV.

Tabla 42. Costo de flete Arequipa SMCV - Lima
Fuente: Propia

Ruta	Descripción	Precio Flete \$
Arequipa SMCV-Lima	Punta 85SV2RMX	33.33

Tabla 43. Costo de flete Lima - Arequipa SMCV
Fuente: Propia

Ruta	Descripción	Precio flete \$
Lima-Arequipa SMCV	Punta 85SV2RMX	33.33

9.2.3 Costo final de reparación y tratamiento de punta 85SV2RMX

Se tiene al final el siguiente cuadro resumen con los costos que implica realizar un tratamiento térmico de templado y revenido a una punta Esco 85SV2RMX

Tabla 44. Costo total de reparación de punta
Fuente: Propia

ITEM	Descripción	Cantidad	Costo Unitario \$	Parcial \$
1	Reparación de punta	1	108.91	108.91
2	Costo del tratamiento térmico de una punta "Templado y Revenido" - Aceros del Perú	1	295.92	295.92
3	Flete Arequipa SMCV - Lima "Empresa Aceros del Perú"	1	33.33	33.33
4	Flete Lima "Empresa Aceros del Perú"- Arequipa SMCV	1	33.33	33.33
			Total	\$471.49

9.3 Comparación de costos punta nueva/punta reparada con tratamiento térmico

En el cucharón de 74 yd³ para la pala P&H 4100 XPC se utilizan 9 puntas para la protección del labio, se compara según el precio de instalar puntas nuevas y el precio de reparar y aplicar un tratamiento térmico a un juego de 9 puntas según los costos previamente obtenidos. Según lo obtenido en el análisis de desgaste del cucharón en el capítulo III, se tiene la cantidad de días que trabaja una punta nueva y una punta reparada. La tabla 45 nos indica los precios unitarios y días de trabajo para un juego de 9 puntas para ambos casos (nuevas-tratadas)

Tabla 45. Comparación costos y tiempo de vida útil
Fuente: Propia

Descripción	Costo Unitario (\$)	Costo 9 und (\$)	Tiempo de vida útil (días)
Punta nueva	1079.9	9718.8	24
Punta reparada con soldadura y tratada	471.5	4243.4	18

Se obtiene el rendimiento de vida (días) de ambos casos, tanto de la instalación de un juego de 9 puntas nuevas y de la reparación de un juego de 9 puntas.

Tabla 46. Comparación de rendimiento de vida útil
Fuente: Propia

Descripción	Costo kit 9 puntas (\$)	Tiempo de vida útil (días)	Rendimiento (Día/\$)
Punta nueva	\$9,718.80	24	0.00247
Punta reparada con soldadura	\$4,243.40	18	0.00424

Se observa que un kit de 9 puntas reparadas y tratadas tienen un rendimiento (día/\$) mayor a un kit de 9 puntas nuevas. Es decir se extiende la vida útil de un juego de puntas nuevas en un 71.66%

$$\frac{0.00424}{0.00247} * 100 = 171.66 \%$$

es decir la vida util se extiende en 71.66%

CAPITULO X

PARAMETROS DE VIDA UTIL DE CUCHARON

Los resultados del análisis desarrollado en el presente estudio, se resumen en la tabla 47 en el cual básicamente se puede apreciar como la punta con tratamiento térmico mejora la duración de una punta reconstruida y teniendo buenas características mecánicas que otorga una microestructura del tipo martensita/bainita

Tabla 47. Resumen de resultados
Fuente: Propia

Componente	Dureza (HRC)	Impacto (J) @20°C	Metalografía	Proceso de soldadura	Tratamiento térmico	Duración aprox (días)	Duración aprox (Hrs)
Punta nueva	51.3	179.13	Martensita Bainita	-	-	24	528
Punta reconstruida	48.7	194.23	Martensita Bainita ZAC (Perlita)	SMAW	-	13	286
Punta reconstruida	51.2	177.34	Martensita Bainita	SMAW	Templado Revenido	18	396

10.1 KPIs

A continuación se observa los principales KPIs de una pala usando un juego de puntas nuevas y otro juego de puntas reparadas, los datos obtenidos son extraídos de SMCV que nos muestran las principales métricas en un mes:

a) Disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas disponibles de trabajo} - \text{Horas mantto preventivo} - \text{Horas mtto correctivo}}{\text{Horas disponibles}}$$

Ecuación 10. Calculo de disponibilidad

Datos obtenidos de SMCV

Horas disponibles al mes de la pala:

$$24 \text{ horas} \times 30 \text{ días} = 720 \text{ horas}$$

Horas mantenimiento preventivo:

$$\frac{16 \text{ horas}}{1 \text{ MP}} \times \frac{2 \text{ MP}}{1 \text{ mes}} = 32 \text{ horas}$$

Horas mantenimiento correctivo:

18 horas aprox

Horas por paradas inesperadas por falla de puntas reparadas:

8 horas aprox

Disponibilidad equipo con puntas nuevas:

$$Disponibilidad = \frac{690 - 32 - 18}{720} = 88.88 \%$$

Disponibilidad equipo con puntas reparadas:

$$Disponibilidad = \frac{690 - 32 - 18 - 8}{720} = 87.77 \%$$

b) Horas de parada al mes

Datos obtenidos de SMCV

Horas de paradas pala puntas nuevas:

$$Horas de parada = 32 + 18 = 50 \text{ horas}$$

Horas de paradas pala puntas reparadas:

$$Horas de parada = 32 + 18 + 8 = 58 \text{ horas}$$

c) Índice de mantenimiento preventivo

$$Indice de matto preventivo = \frac{Horas matto preventivo}{Horas mtto total}$$

Ecuación 11. Índice de mantenimiento preventivo

Horas mantenimiento preventivo:

$$\frac{16 \text{ horas}}{1 \text{ MP}} \times \frac{2 \text{ MP}}{1 \text{ mes}} = 32 \text{ horas}$$

Horas mantenimiento total puntas nuevas:

$$32 + 18 = 50 \text{ horas}$$

Horas mantenimiento total puntas reparadas:

$$32 + 18 + 8 = 58 \text{ horas}$$

Índice mantenimiento preventivo puntas nuevas:

$$Indice matto preventivo = \frac{32}{50} = 64 \%$$

Índice mantenimiento preventivo puntas reparadas:

$$Indice matto preventivo = \frac{32}{58} = 55.17 \%$$

d) Índice de mantenimiento correctivo

$$\text{Índice de matto correctivo} = \frac{\text{Horas matto correctivo}}{\text{Horas mtto total}}$$

Ecuación 12. Índice de mantenimiento correctivo

Horas mantenimiento correctivo puntas nueva:
18 horas

Horas mantenimiento correctivo puntas reparadas:
18 + 8 = 26 horas

Índice mantenimiento correctivo puntas nuevas:
$$\text{Índice matto correctivo} = \frac{18}{50} = 36 \%$$

Índice mantenimiento correctivo puntas reparadas:
$$\text{Índice matto correctivo} = \frac{26}{58} = 44.82 \%$$

Se realizó una comparación entre los principales KPIs entre un cucharón con puntas nuevas y otro con puntas reparadas (recordar que un cucharón tiene 9 puntas instaladas) según la tabla 48. Se observa lo siguiente:

Principalmente se tiene que la disponibilidad es menor en un cucharón de puntas reparadas, ya que un cucharón con puntas reparadas requerirá más intervenciones por mantenimiento que un cucharón con puntas nuevas, es decir se tendrá más horas de parada al mes en un cucharón con puntas reparadas, se observa un índice de mantenimiento preventivo menor en un cucharón con puntas reparadas, así como un mayor índice de mantenimiento correctivo.

La vida útil de las puntas reparadas se extienden en 71.67% y se tiene un menor costo de reparación que instalar un juego nuevo de puntas nuevas.

Tabla 48. Indicadores de mantenimiento
Fuente: SMCV – Propia

INDICADOR	CUCHARON PUNTAS NUEVAS	CUCHARON PUNTAS REPARADAS
Costo de mantenimiento	Instalar un juego de 9 puntas nuevas cuesta \$ 9718.80	Reparar un juego de 9 puntas cuesta \$4243.40
Tiempo de duración	Una punta nueva dura aproximadamente 24 días	Una punta reparada dura aproximadamente 18 días
Horas de parada al mes	50 horas aprox	58 horas aprox
Disponibilidad de pala al mes (tiempo de producción real/tiempo de producción disponible)	Se tiene una disponibilidad de 88.88% según SMCV	Se tiene una disponibilidad de 87.77% según SMCV
Índice de mantenimiento preventivo mes (Horas mto preventivo/horas total mto)	64% según SMCV	55.17% según SMCV
Índice de mantenimiento correctivo mes (Horas mto correctivo/horas total mto)	36% según SMCV	44.82% según SMCV

CONCLUSIONES

1. Mediante análisis de ensayos de materiales y empleando técnicas de tratamiento térmico se pudo mejorar las características mecánicas de los elemento de protección de labio de cucharón.
2. El proceso de Análisis de Modo y Efectos de Falla evidencia que el labio del cucharón de la pala, es la parte con mayor número de prioridad de riesgo (NPR=729 de un máximo de 1000), por lo cual es la parte más crítica.
3. Es factible la reconstrucción por soldadura de una punta de cucharón, alcanzando una dureza 503 HB, la cual es superior a la dureza de una punta recuperada por soldadura convencional - sin tratamiento térmico (451 HB). Adicionalmente en Tenacidad también se logró mejora, alcanzando una tenacidad de 177.34J respecto 194.23J de una punta recuperada por soldadura convencional.
4. Mediante análisis metalográfico se verifico que la punta de cucharón presenta una estructura martensítica/bainita el cual proporciona excelentes propiedades mecánicas, cuando se realiza soldadura la zona afectada por calor presenta una estructura perlítica la cual no otorga buenas propiedades mecánicas a una punta de cucharón pero realizando tratamiento térmico de templado y revenido se obtuvo una estructura del tipo martensítica/bainita similar a características de fabrica
5. El proceso propuesto logra una mejora en la recuperación del cucharón de la pala en cuál es el componente más crítico de una pala eléctrica, este es evidenciado en el capítulo III “Simulación del Cucharón y Puntas” alcanzando extender la vida útil de una Punta reconstruida por soldadura de 13 días a 18 días por medio de mejoras en el proceso de soldado y tratamiento térmico.
6. Reparar y someter a tratamiento térmico una punta tiene menor costo que comprar una nueva, pero se tiene una disminución en la disponibilidad de la mecánica ya que habrá más paradas debido a fallas en puntas reparadas.

OBSERVACIONES

1. Se observa que el reconstruir con soldadura y someter la punta a tratamiento térmico sería factible en una minería de mediana y/o pequeña escala; debido a que en la gran minería la hora de parada de maquina es muy representativa.
2. Se observa que en cuanto a los costos si bien se tiene un menor costo diario de una punta reconstruida, se tiene que a largo plazo habría más cambios de punta, lo cual generaría menos producción de la pala eléctrica.
3. Se observó que el tipo de estructura presente en los elementos de protección-acero aleado, es bainita y martensita.
4. Se observó que los elementos de protección tienen que ser elementos con excelentes propiedades mecánicas como dureza, resistencia a la tracción, tenacidad y así resistir el desgaste continuo.
5. Se observó que luego de un tratamiento térmico adecuado en la punta reconstruida, es posible alcanzar propiedades mecánicas similares a una punta nueva de fábrica.
6. Se observó que la tenacidad con la dureza son inversamente proporcional, a mayor dureza se tiene menor tenacidad y viceversa.
7. Se observó diferentes comportamientos de la zona de ruptura (fractura dúctil y fractura frágil) luego de realizar ensayo de Charpy.
8. Se observó que para realizar ensayos de dureza, se debe tener una superficie muy lisa en la zona donde se realizará el ensayo, debido a que si hay rugosidad, esta puede llevar a errores en el ensayo; además la superficie de apoyo con la superficie de ensayo deben ser paralelas.
9. Se observó que el calentamiento producto de un proceso soldadura, altera el tratamiento térmico de una pieza.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar estos elementos anti desgaste reconstruidos como stock de emergencia, en caso de que un elemento anti desgaste nuevo falle prematuramente.
2. Se recomienda utilizar máquinas de mecanizado-rectificadora para preparar las superficies de las piezas cuando se requiera hacer ensayos de materiales en estas.
3. Se recomienda tomar todas las medidas de seguridad pertinentes en el momento de realizar ensayos de materiales, debido a que hay peligros y riesgos presentes.
4. Se recomienda realizar el relleno por soldadura mediante el proceso GMAW ya que las velocidades de soldadura son altas respecto al proceso SMAW.
5. Se recomienda contar con un buen sistemas de extracción de gases, en el momento de realizar templado en aceite, debido a que al estar a elevada temperatura la pieza a tratar, produce evaporación del aceite de templado, lo cual puede causar daño a las personas su inhalación.
6. Se recomienda tener un control adecuado del tiempo y la temperatura al realizar los tratamientos térmicos a la pieza.
7. Se recomienda que al momento de realizar los ensayos en el laboratorio se lleve un control adecuado de las condiciones en las cuales se realiza las pruebas, para que los resultados de estas sean lo más exacto posible.

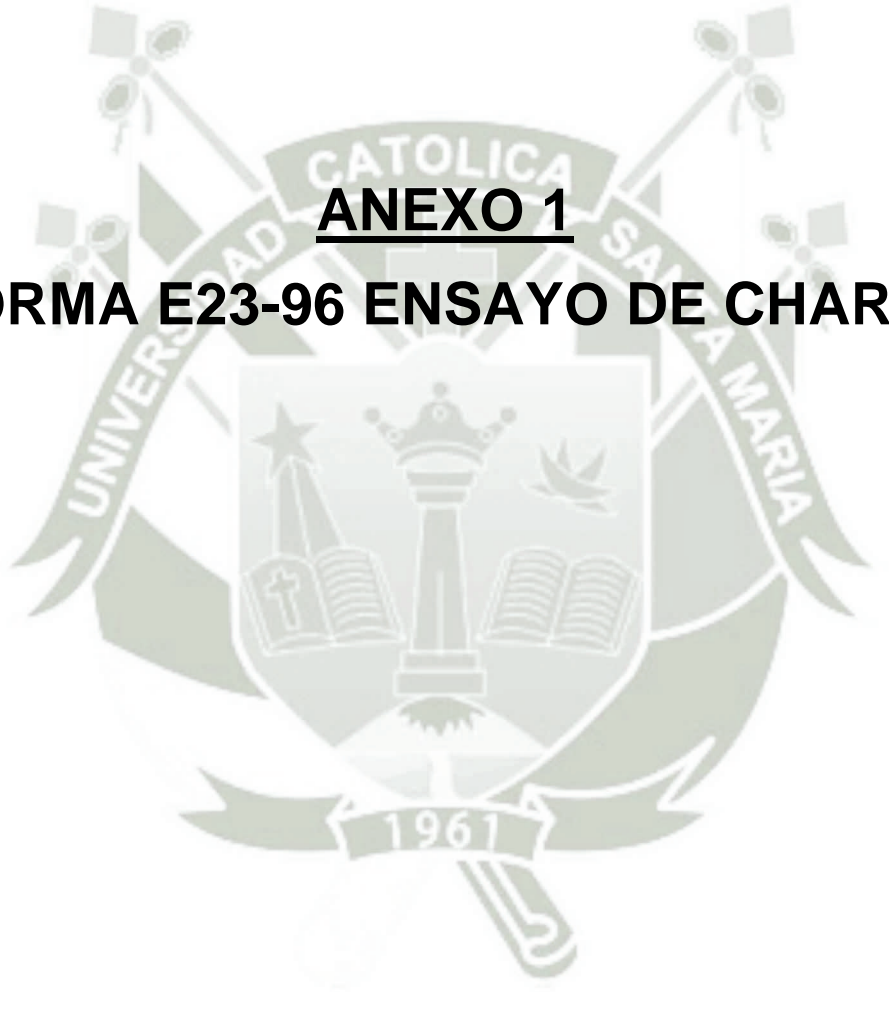
BIBLIOGRAFIA

- 1) Plataforma e-educativa aragonesa: Tratamientos térmicos.
<http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4911/html/index.html>
- 2) Universidad de Oviedo: Curvas TTT.
<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema1.CurvasTTT.pdf>
- 3) Universidad Politécnica de Valencia: Endurecimiento por aleación. Aleaciones con transformación martensítica.
<http://www.upv.es/materiales/Fcm/Pdf/Ejercicios/Ejercicio07.PDF>
- 4) N. Caballero Stevens , G. M. Figueroa Cuervo: Medios de enfriamiento para el temple.
<http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/viewFile/395/735>
- 5) J.M. Cáceres Alvarado: Transformaciones de fase y tratamientos térmicos.
https://jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Transparencias%20de%20clase_archivos/T9Transf&Trat0607.pdf
- 6) Universidad Autónoma de Madrid: Tipos de enfriamiento.
<https://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/tipos%20de%20enfriamiento.htm>
- 7) Esco: Soldadura de Aceros de Desgaste. Cod Esco E/MAI-500-0800
- 8) Esco: Esco Alloys. 2008 ESCO Corporation.
- 9) Esco: ESCO 73 YD Door Assembly Sequence. 2009 ESCO Corporation
- 10) Esco: Instrucciones Conversiones a sistema Whisler Plus™ Labio TLC 6.00. 2009 ESCO Corporation
- 11) ESCO Corporation: Fabrication and repair welds on esco products performed in non-esco facilities. MII-4131
- 12) ESCO Corporation: Grupo de productos de ingeniería guía de soldadura y acondicionado de piezas fundidas. MII-4146
- 13) ESCO Corporation: Esco Welding Procedures. MII-4146.
P6000GEN01L0608
- 14) MARYLAND METRICS: Inspections, acceptance testings and certificates
- 15) ESCO Corporation: Esco Welding Procedures. MII-4146.
P6000GEN01L0608
- 16) ESCO Corporation: ESCO Corporation: Esco Welding Procedures. MII-4437

- 17) Ing. Va Larre: Estructuras del Acero
- 18) Fortunato Alva Dávila: Diseño de Elementos de Máquinas I y II.
- 19) Ferreyros AFA
- 20) Curso Análisis de Fallas - PUCP







ANEXO 1
NORMA E23-96 ENSAYO DE CHARPY



Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 23; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace method 221.1 of Federal Test Method Standard No. 151b. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods describe notched-bar impact testing of metallic materials by the Charpy (simple-beam) apparatus and the Izod (cantilever-beam) apparatus. They give: (a) a description of apparatus, (b) requirements for inspection and calibration, (c) safety precautions, (d) sampling, (e) dimensions and preparation of specimens, (f) testing procedures, (g) precision and bias, and (h) appended notes on the significance of notched-bar impact testing. These test methods will in most cases also apply to tests on unnotched specimens.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. Inch-pound units are provided for information only.

1.3 This standard does not address the problems associated with impact testing at temperatures below 77°K.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods²

E 399 Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials³

E 604 Test Method for Dynamic Tear Testing of Metallic Materials³

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method²

E 1271 Practice for Qualifying Charpy Verification Specimens of Heat-Treated Steel³

3. Summary of Test Methods

3.1 The essential features of an impact test are: (a) a suitable specimen (specimens of several different types are recognized), (b) an anvil or support on which the test specimen is placed to receive the blow of the moving mass,

(c) a moving mass that has been released from a sufficient height to cause the mass to break the specimen placed in its path, and (d) a device for measuring the energy absorbed by the broken specimen.

4. Significance and Use

4.1 These test methods of impact testing relate specifically to the behavior of metal when subjected to a single application of a load resulting in multiaxial stresses associated with a notch, coupled with high rates of loading and in some cases with high or low temperatures. For some materials and temperatures, impact tests on notched specimens have been found to predict the likelihood of brittle fracture better than tension tests or other tests used in material specifications. Further information on significance appears in Appendix X1.

5. Apparatus

5.1 General Requirements:

5.1.1 The testing machine shall be a pendulum type of rigid construction and of capacity more than sufficient to break the specimen in one blow.

5.1.2 The machine frame shall be equipped with a bubble level or a machined surface suitable for establishing levelness of the axis of pendulum bearings or, alternatively, the levelness of the axis of rotation of the pendulum may be measured directly. The machine shall be level to within 3:1000 and securely bolted to a concrete floor not less than 150 mm (6 in.) thick or, when this is not practical, the machine shall be bolted to a foundation having a mass not less than 40 times that of the pendulum. The bolts shall be tightened as specified by the machine manufacturer.

5.1.3 The machine shall be furnished with scales graduated either in degrees or directly in energy on which readings can be estimated in increments of 0.25 % of the energy range or less. The scales may be compensated for windage and pendulum friction. The error in the scale reading at any point shall not exceed 0.2 % of the range or 0.4 % of the reading, whichever is larger. (See 6.2.6.2 and 6.2.7.)

5.1.4 The total friction and windage losses of the machine during the swing in the striking direction shall not exceed 0.75 % of the scale range capacity, and pendulum energy loss from friction in the indicating mechanism shall not exceed 0.25 % of scale range capacity.

5.1.5 When hanging free, the pendulum shall hang so that the striking edge is within 2.5 mm (0.10 in.) of the position where it would just touch the test specimen. When the indicator has been positioned to read zero energy in a free

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.07 on Impact Testing.

Current edition approved March 10, 1996. Published May 1996. Originally published as E 23 - 33 T. Last previous edition E 23 - 94b.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

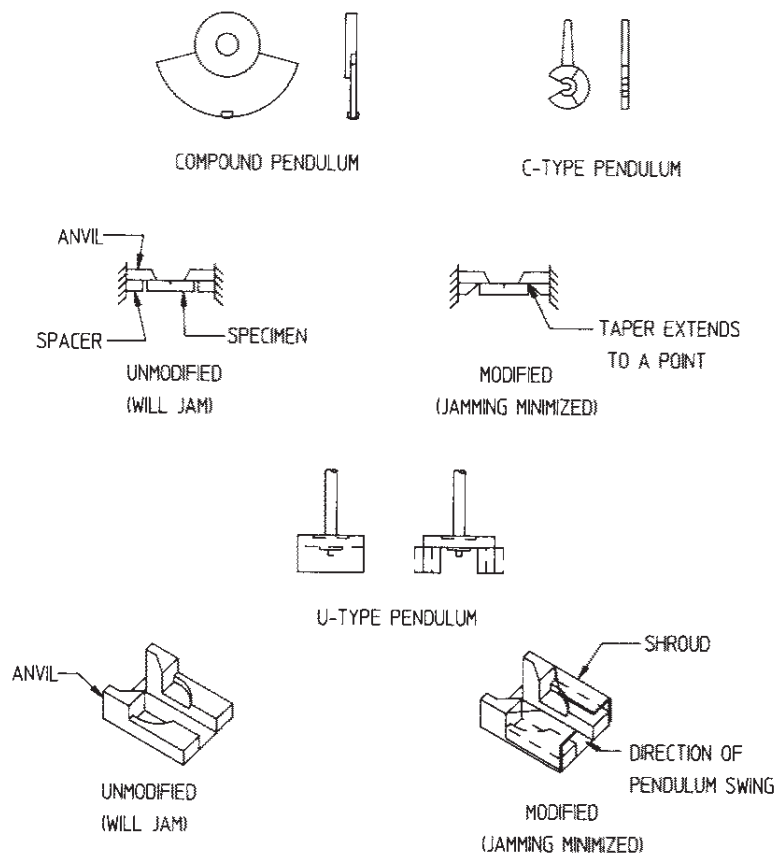


FIG. 1 Typical Pendulums and Anvils for Charpy Machines, Shown with Modifications to Minimize Jamming

swing, it shall read within 0.2 % of scale range when the striking edge of the pendulum is held against the test specimen. The plane of swing of the pendulum shall be perpendicular to the transverse axis of the Charpy specimen anvils or Izod vise within 3:1000.

5.1.6 Transverse play of the pendulum at the striker shall not exceed 0.75 mm (0.030 in.) under a transverse force of 4 % of the effective weight of the pendulum applied at the center of strike. Radial play of the pendulum bearings shall not exceed 0.075 mm (0.003 in.). The tangential velocity (the impact velocity) of the pendulum at the center of the strike shall not be less than 3 nor more than 6 m/s (not less than 10 nor more than 20 ft/s).

5.1.7 Before release, the height of the center of strike above its free hanging position shall be within 0.4 % of the range capacity divided by the supporting force, measured as described in 6.2.3.3. If windage and friction are compensated for by increasing the height of drop, the height of drop may be increased by not more than 1 %.

5.1.8 The mechanism for releasing the pendulum from its initial position shall operate freely and permit release of the pendulum without initial impulse, retardation, or side vibration. If the same lever that is used to release the pendulum is also used to engage the brake, means shall be provided for preventing the brake from being accidentally engaged.

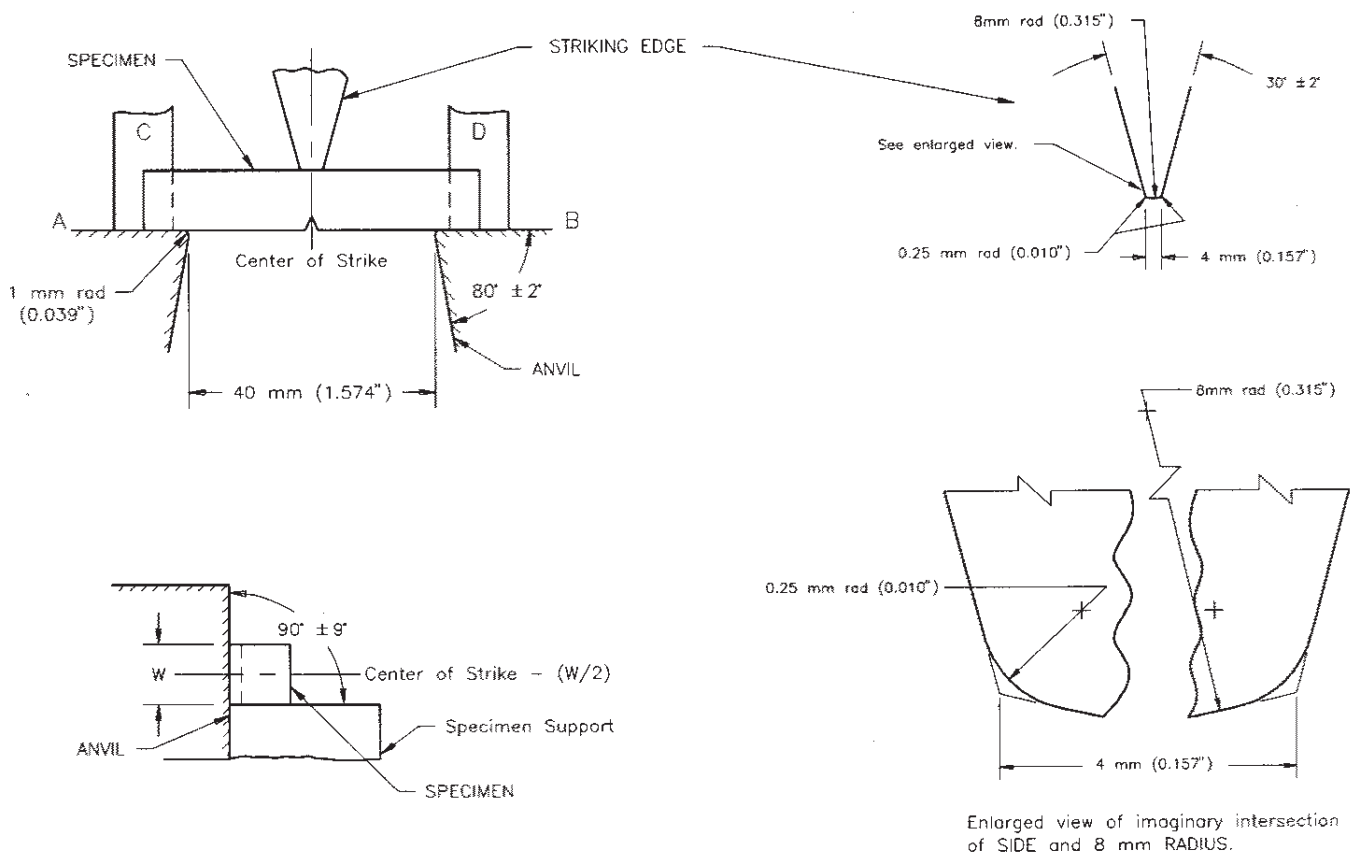
5.2 *Specimen Clearance*—To ensure satisfactory results when testing materials of different strengths and compositions, the test specimen shall be free to leave the machine

with a minimum of interference and shall not rebound into the pendulum before the pendulum completes its swing. Pendulums used on Charpy machines are of three basic designs, as shown in Fig. 1. When using a C-type pendulum or a compound pendulum, the broken specimen will not rebound into the pendulum and slow it down if the clearance at the end of the specimen is at least 13 mm (0.5 in.) or if the specimen is deflected out of the machine by some arrangement as is shown in Fig. 1. When using the U-type pendulum, means shall be provided to prevent the broken specimen from rebounding against the pendulum (Fig. 1). In most U-type pendulum machines, the shrouds should be designed and installed to the following requirements: (a) have a thickness of approximately 1.5 mm (0.06 in.), (b) have a minimum hardness of 45 HRC, (c) have a radius of less than 1.5 mm (0.06 in.) at the underside corners, and (d) be so positioned that the clearance between them and the pendulum overhang (both top and sides) does not exceed 1.5 mm (0.06 in.).

NOTE 1—In machines where the opening within the pendulum permits clearance between the ends of a specimen (resting on the anvil supports) and the shrouds, and this clearance is at least 13 mm (0.5 in.) requirements (a) and (d) need not apply.

5.3 *Charpy Apparatus:*

5.3.1 Means shall be provided (Fig. 2) to locate and support the test specimen against two anvil blocks in such a position that the center of the notch can be located within



All dimensional tolerances shall be ± 0.05 mm (0.002 in.) unless otherwise specified.

FIG. 2 Charpy Striking Tup

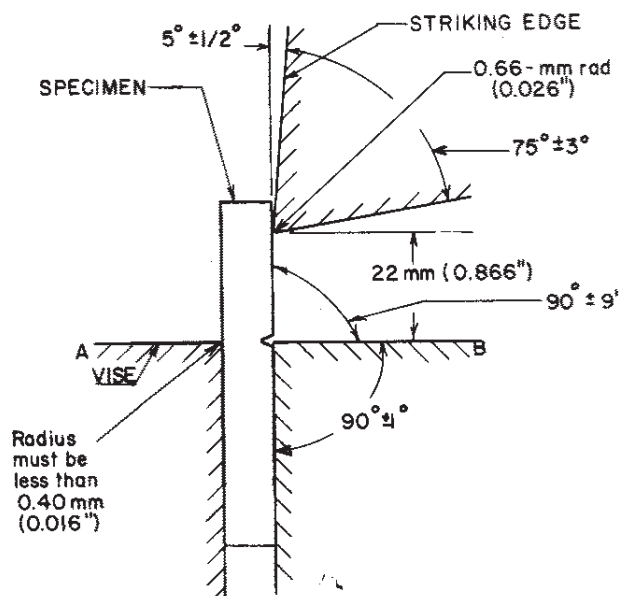
0.25 mm (0.010 in.) of the midpoint between the anvils (see 12.2.1.2).

5.3.2 The supports and striking edge shall be of the forms and dimensions shown in Fig. 2. Other dimensions of the pendulum and supports should be such as to minimize interference between the pendulum and broken specimens.

5.3.3 The center line of the striking edge shall advance in the plane that is within 0.40 mm (0.016 in.) of the midpoint between the supporting edges of the specimen anvils. The striking edge shall be perpendicular to the longitudinal axis of the specimen within 5:1000. The striking edge shall be parallel within 1:1000 to the face of a perfectly square test specimen held against the anvil.

5.4 Izod Apparatus:

5.4.1 Means shall be provided (Fig. 3) for clamping the specimen in such a position that the face of the specimen is parallel to the striking edge within 1:1000. The edges of the clamping surfaces shall be sharp angles of $90 \pm 1^\circ$ with radii less than 0.40 mm (0.016 in.). The clamping surfaces shall be smooth with a 2- μ m (63- μ in.) finish or better, and shall clamp the specimen firmly at the notch with the clamping force applied in the direction of impact. For rectangular specimens, the clamping surfaces shall be flat and parallel within 0.025 mm (0.001 in.). For cylindrical specimens, the clamping surfaces shall be contoured to match the specimen and each surface shall contact a minimum of $\pi/2$ rad (90°) of the specimen circumference.



All dimensional tolerances shall be ± 0.05 mm (0.002 in.) unless otherwise specified.

NOTE 1—The clamping surfaces of A and B shall be flat and parallel within 0.025 mm (0.001 in.).

NOTE 2—Finish on unmarked parts shall be 2 μ m (63 μ in.).

NOTE 3—Striker width must be greater than that of the specimen being tested.

FIG. 3 Izod (Cantilever-Beam) Impact Test

5.4.2 The dimensions of the striking edge and its position relative to the specimen clamps shall be as shown in Fig. 3.

5.5 *Energy Range*—Energy values above 80 % of the scale range are inaccurate and shall be reported as approximate. Ideally an impact test would be conducted at a constant impact velocity. In a pendulum-type test, the velocity decreases as the fracture progresses. For specimens that have impact energies approaching the capacity of the pendulum, the velocity of the pendulum decreases during fracture to the point that accurate impact energies are no longer obtained.

6. Inspection

6.1 Critical Parts:

6.1.1 *Specimen Anvils and Supports or Vise*—These shall conform to the dimensions shown in Fig. 2 or 3. To ensure a minimum of energy loss through absorption, bolts shall be tightened as specified by the machine manufacturer.

NOTE 2—The impact machine will be inaccurate to the extent that some energy is used in deformation or movement of its component parts or of the machine as a whole; this energy will be registered as used in fracturing the specimen.

6.1.2 *Pendulum Striking Edge*—The striking edge (tup) of the pendulum shall conform to the dimensions shown in Figs. 2 or 3. To ensure a minimum of energy loss through absorption, the striking edge bolts shall be tightened as

specified by the machine manufacturer. The pendulum striking edge (tup) shall comply with 5.3.3 (for Charpy tests) or 5.4.1 (for Izod tests) by bringing it into contact with a standard Charpy or Izod specimen.

6.2 Pendulum Operation:

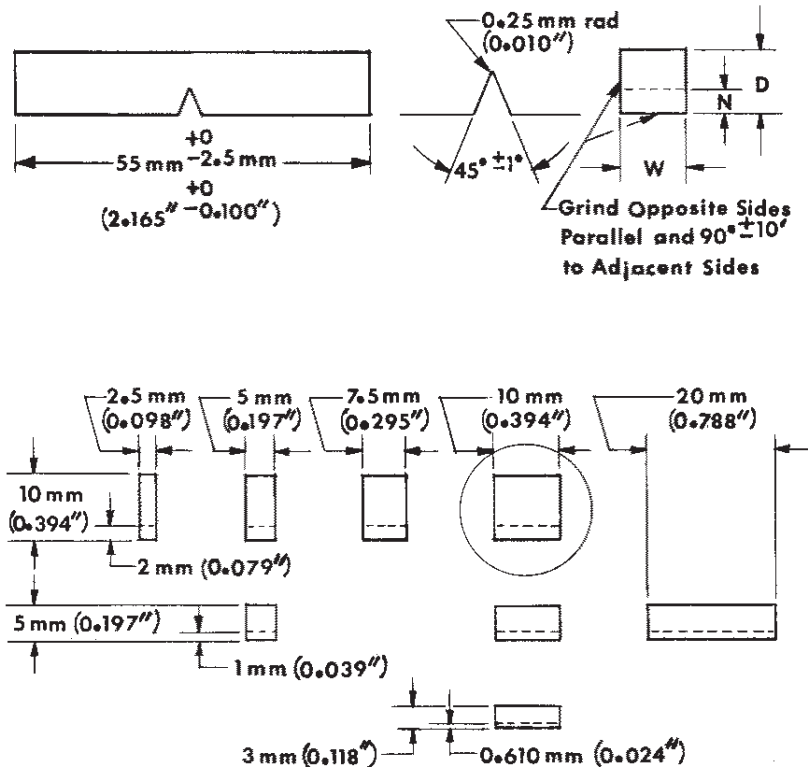
6.2.1 *Pendulum Release Mechanism*—The mechanism for releasing the pendulum from its initial position shall comply with 5.1.8.

6.2.2 *Pendulum Alignment*—The pendulum shall comply with 5.1.5 and 5.1.6. If the side play in the pendulum or the radial plays in the bearings exceeds the specified limits, adjust or replace the bearings.

6.2.3 *Potential Energy*—Determine the initial potential energy using the following procedure when the center of strike of the pendulum is coincident with a radial line from the center line of the pendulum bearings (herein called the axis of rotation) to the center of gravity. (See Appendix X2.) If the center of strike is more than 1.0 mm (0.04 in.) from this line, suitable corrections in elevation of the center of strike must be made in 6.2.3.2, 6.2.3.3, 6.2.6.1, and 6.2.7, so that elevations set or measured correspond to what they would be if the center of strike were on this line.

6.2.3.1 For Charpy machines place a half-width specimen (see Fig. 4) 10 by 5 mm (0.394 by 0.197 in.) in test position. With the striking edge in contact with the specimen, a line

On subsized specimens the length, notch angle, and notch radius are constant (see Fig. 6); depth (D), notch depth (N), and width (W) vary as indicated below.



NOTE 1—Circled specimen is the standard specimen (see Fig. 6).

NOTE 2—Permissible variations shall be as follows:

Cross-section dimensions	±1 % or ±0.075 mm (0.003 in.), whichever is smaller
Radius of notch	±0.025 mm (0.001 in.)
Depth of notch	±0.025 mm (0.001 in.)
Finish requirements	2 μm (63 μin.) on notched surface and opposite face; 4 μm (125 μin.) on other two surfaces

FIG. 4 Charpy (Simple-Beam) Subsize (Type A) Impact Test Specimens

scribed from the top edge of the specimen to the striking edge will indicate the center of strike on the striking edge.

6.2.3.2 For Izod machines, the center of strike may be considered to be the contact line when the pendulum is brought into contact with a specimen in the normal testing position.

6.2.3.3 Support the pendulum horizontally to within 15:1000 with two supports, one at the bearings (or center of rotation) and the other at the center of strike on the striking edge (see Fig. 5). Arrange the support at the striking edge to react upon some suitable weighing device such as a platform scale or balance, and determine the weight to within 0.4 %. Take care to minimize friction at either point of support. Make contact with the striking edge through a round rod crossing the edge at a 90° angle. The supporting force is the scale reading minus the weights of the supporting rod and any shims that may be used to maintain the pendulum in a horizontal position.

6.2.3.4 Determine the height of pendulum drop for compliance with the requirement of 5.1.7. On Charpy machines determine the height from the top edge of a half-width (or center of a full-width) specimen to the elevated position of the center of strike to 0.1 %. On Izod machines determine the height from a distance 22.66 mm (0.892 in.) above the vise to the release position of the center of strike to 0.1 %. The height may be determined by direct measurement of the elevation of the center of strike or by calculation from the change in angle of the pendulum using the following formulas: (See Fig. 5)

$$S = L(1 - \cos \beta) \text{ or } h_1 = L(1 - \cos \alpha)^2$$

6.2.3.5 The potential energy of the system is equal to the height from which the pendulum falls, as determined in 6.2.3.4, times the supporting force, as determined in 6.2.3.3.

6.2.4 *Impact Velocity*—Determine the impact velocity, v , of the machine, neglecting friction, by means of the following equation:

$$v = \sqrt{2gh}$$

where:

v = velocity, m/s (or ft/s),
 g = acceleration of gravity, 9.81 m/s² (32.2 ft/s²), and
 h = initial elevation of the striking edge, m (or ft).

6.2.5 *Center of Percussion*—To ensure that minimum force is transmitted to the point of rotation, the center of percussion shall be at a point within 1 % of the distance from the axis of rotation to the center of strike in the specimen. Determine the location of the center of percussion as follows:

6.2.5.1 Using a stop watch or some other suitable time-measuring device, capable of measuring time to within 0.2 s, swing the pendulum through a total angle not greater than 15° and record the time for 100 complete cycles (to and fro).

6.2.5.2 Determine the center of percussion by means of the following equation:

$$L = \frac{gp^2}{4\pi^2}$$

where:

L = distance from the axis to the center of percussion, m (ft),
 g = local gravitational acceleration (accuracy of one part in one thousand), m/s² (ft/s²),
 π = 3.1416, and

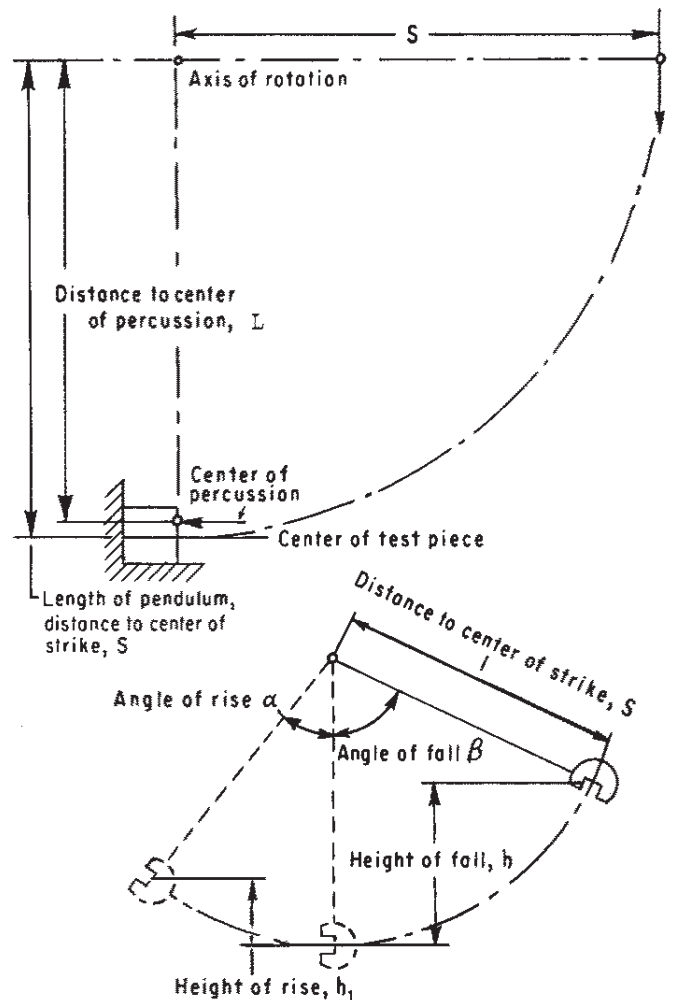


FIG. 5 Dimensions for Calculations

p = period of a complete swing (to and fro), s.

6.2.6 *Friction*—The energy loss from friction and windage of the pendulum and friction in the recording mechanism, if not corrected, will be included in the energy loss attributed to breaking the specimen and can result in erroneously high impact values. In machines recording in degrees, normal frictional losses are usually not compensated for by the machine manufacturer, whereas they are usually compensated for in machines recording directly in energy by increasing the starting height of the pendulum. Determine energy losses from friction as follows:

6.2.6.1 Without a specimen in the machine, and with the indicator at the maximum energy reading, release the pendulum from its starting position and record the energy value indicated. This value should indicate zero energy if frictional losses have been corrected by the manufacturer. Raise the pendulum so it just contacts the pointer at the value obtained in the free swing. Secure the pendulum at this height and determine the vertical distance from the center of strike to the top of a half-width specimen positioned on the specimen rests (see 6.2.3.1). Determine the supporting force as in 6.2.3.2 and multiply by this distance. The difference in this value and the initial potential energy is the total energy

loss in the pendulum and indicator combined. Without resetting the pointer, repeatedly release the pendulum from its initial position until the pointer shows no further movement. The energy loss determined by the final position of the pointer is that due to the pendulum alone. The frictional loss in the indicator alone is then the difference between the combined indicator and pendulum losses and those due to the pendulum alone.

6.2.6.2 To ensure that friction and windage losses are within tolerances allowed (see 5.1.4), a simple weekly procedure may be adopted for direct-reading machines. The following steps are recommended: (a) release the pendulum from its upright position without a specimen in the machine, and the energy reading should be 0 J (0 ft·lbf); (b) without resetting the pointer, again release the pendulum and permit it to swing 11 half cycles; and after the pendulum starts its 11th cycle, move the pointer to between 5 and 10 % of scale range capacity and record the value obtained. This value, divided by 11, shall not exceed 0.4 % of scale range capacity. If this value does exceed 0.4 %, the bearings should be cleaned or replaced.

6.2.7 *Indicating Mechanism*—To ensure that the direct reading scale is recording accurately over the entire range, check it at graduation marks corresponding to approximately 0, 10, 20, 30, 50, and 70 % of each range. With the striking edge of the pendulum scribed to indicate the center of strike, lift the pendulum and set it in a position where the indicator reads, for example, 13 J (10 ft·lbf). Determine the height of center of strike to within 0.1 %. The height of center of strike multiplied by the supporting force, as determined in 6.2.3.3, is the residual energy. Increase this value by the total frictional and windage losses for a free swing (see 6.2.6.1) multiplied by the ratio of the angle of swing during a test to twice the angle of fall. Subtract the sum of the residual energy and proportional frictional and windage loss from the potential energy at the latched position. (See 6.2.3.) Make similar calculations at other points of the scale. The scale pointer shall not overshoot or drop back with the pendulum. Make test swings from various heights to check visually the operation of the pointer over several portions of the scale.

6.2.8 The impact value shall be taken as the energy absorbed in breaking the specimen and is equal to the difference between the energy in the striking member at the instant of impact with the specimen and the energy remaining after breaking the specimen.

7. Precaution in Operation of Machine

7.1 *Safety Precautions*—Precautions should be taken to protect personnel from the swinging pendulum, flying broken specimens, and hazards associated with specimen warming and cooling media.

8. Sampling

8.1 Specimens shall be taken from the material as specified by the applicable specification.

9. Test Specimens

9.1 *Material Dependence*—The choice of specimen depends to some extent upon the characteristics of the material to be tested. A given specimen may not be equally satisfactory for soft nonferrous metals and hardened steels; there-

fore, a number of types of specimens are recognized. In general, sharper and deeper notches are required to distinguish differences in the more ductile materials or with lower testing velocities.

9.1.1 The specimens shown in Figs. 6 and 7 are those most widely used and most generally satisfactory. They are particularly suitable for ferrous metals, excepting cast iron.⁴

9.1.2 The specimen commonly found suitable for die cast alloys is shown in Fig. 8.

9.1.3 The specimens commonly found suitable for powdered metals (P/M) are shown in Figs. 9 and 10. The specimen surface may be in the as-produced condition or smoothly machined, but polishing has proven generally unnecessary. Unnotched specimens are used with P/M materials. In P/M materials, the impact test results will be affected by specimen orientation. Therefore, unless otherwise specified, the position of the specimen in the machine shall be such that the pendulum will strike a surface that is parallel to the compacting direction.

9.2 *Sub-Size Specimen*—When the amount of material available does not permit making the standard impact test specimens shown in Figs. 6 and 7, smaller specimens may be used, but the results obtained on different sizes of specimens cannot be compared directly (X1.3). When Charpy specimens other than the standard are necessary or specified, it is recommended that they be selected from Fig. 4.

9.3 *Supplementary Specimens*—For economy in preparation of test specimens, special specimens of round or rectangular cross section are sometimes used for cantilever beam test. These are shown as Specimens X, Y, and Z in Figs. 11 and 12. Specimen Z is sometimes called the Philpot specimen after the name of the original designer. In the case of hard materials, the machining of the flat surface struck by the pendulum is sometimes omitted. Types Y and Z require a different vise from that shown in Fig. 3, each half of the vise having a semi-cylindrical recess that closely fits the clamped portion of the specimen. As previously stated, the results cannot be reliably compared to those obtained using specimens of other sizes or shapes.

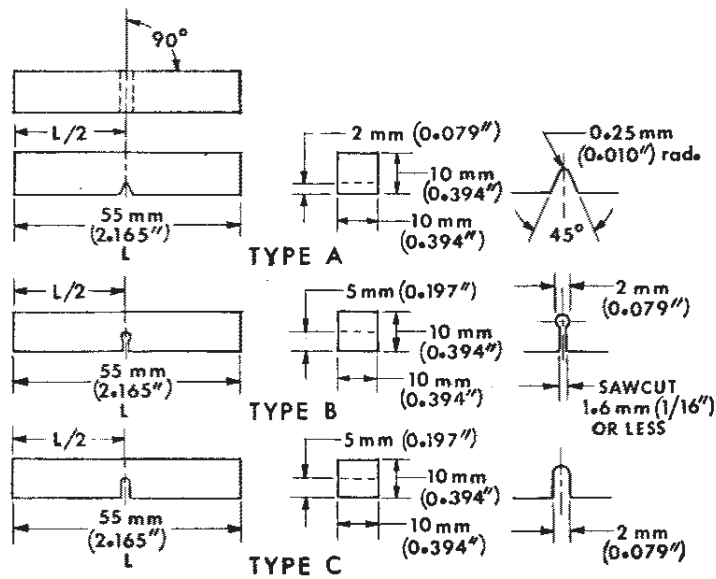
9.4 *Specimen Machining:*

9.4.1 When heat-treated materials are being evaluated, the specimen shall be finish machined, including notching, after the final heat treatment, unless it can be demonstrated that there is no difference when machined prior to heat treatment.

9.4.2 Notches shall be smoothly machined but polishing has proven generally unnecessary. However, since variations in notch dimensions will seriously affect the results of the tests, it is necessary to adhere to the tolerances given in Fig. 6 (X1.2 illustrates the effects from varying notch dimensions on Type A specimens). In keyhole specimens, the round hole shall be carefully drilled with a slow feed. The slot may be cut by any feasible method. Care must be exercised in cutting the slot to see that the surface of the drilled hole opposite the slot is not marked.

9.4.3 Identification marks shall only be placed in the following locations on specimens: either of the 10-mm

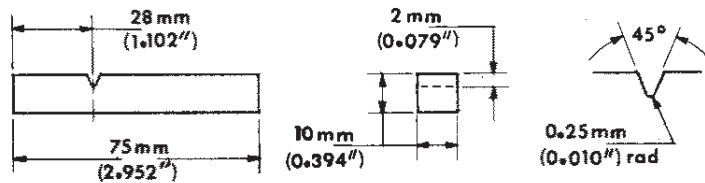
⁴ For testing cast iron, see 1933 Report of Subcommittee XV on Impact Testing of Committee A-3 on Cast Iron, *Proceedings*, Am. Soc. Testing Mats., Vol 33, Part 1, 1933.



NOTE—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	90 ± 2°
Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min
Cross-section dimensions	± 0.075 mm (± 0.003 in.)
Length of specimen (L)	+0, -2.5 mm (+0, -0.100 in.)
Centering of notch (L/2)	± 1 mm (± 0.039 in.)
Angle of notch	± 1°
Radius of notch	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Notch depth:	
Type A specimen	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Types B and C specimen	± 0.075 mm (± 0.003 in.)
Finish requirements	2 μm (63 μin.) on notched surface and opposite face; 4 μm (125 μin.) on other two surfaces

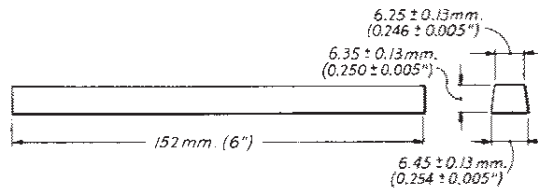
FIG. 6 Charpy (Simple-Beam) Impact Test Specimens, Types A, B, and C



NOTE—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	90 ± 2°
Cross-section dimensions	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Length of specimen	+0, -2.5 mm (± 0, -0.100 in.)
Angle of notch	± 1°
Radius of notch	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Notch depth	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min
Finish requirements	2 μm (63 μin.) on notched surface and opposite face; 4 μm (125 μin.) on other two surfaces

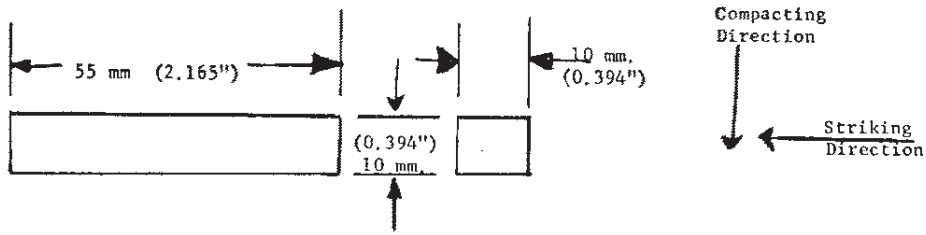
FIG. 7 Izod (Cantilever-Beam) Impact Test Specimen, Type D



NOTE 1—Two test specimens may be cut from this bar.
NOTE 2—Blow shall be struck on narrowest face.

FIG. 8 Simple Beam Impact Test Bar for Die Castings Alloys

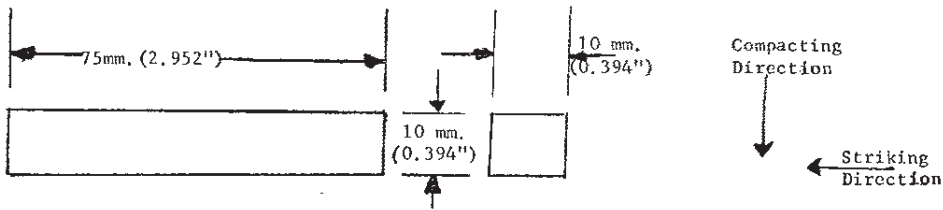
E 23



NOTE—Permissible variations shall be as follows:

Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min
Cross section dimensions	±0.125 mm (0.005 in.)
Length of specimen	+0, -2.5 mm (+0, -0.100 in.)

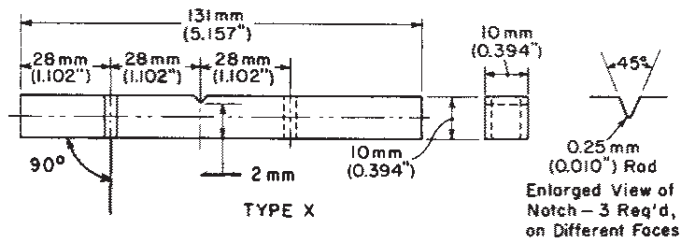
FIG. 9 Charpy (Simple Beam) Impact Test Specimens for Metal Powder Structural Parts



NOTE—Permissible variations shall be as follows:

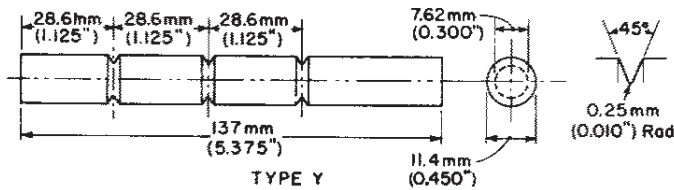
Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min.
Cross section dimensions	±0.125 mm (0.005 in.)
Length of specimens	+0, -2.5 mm (+0, -0.100 in.)

FIG. 10 Izod (Cantilever-Beam) Impact Test Specimen for Metal Powder Structural Parts



NOTE—Permissible variations for type X specimens shall be as follows:

Notch length to edge	90 ± 2°
Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min
Notch depth of Type X specimen	±0.025 mm (±0.001 in.)

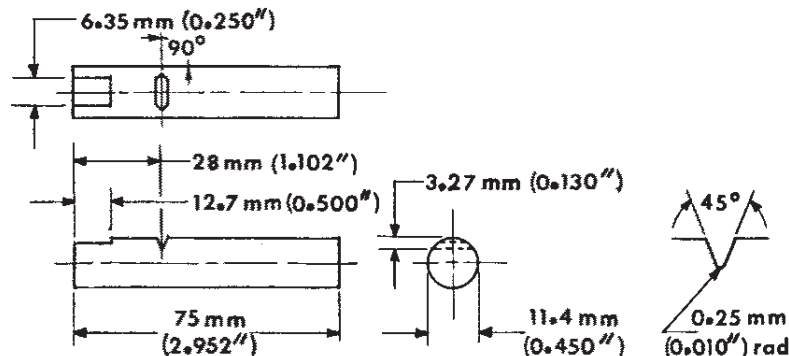


NOTE—Permissible variations for both specimens shall be as follows:

Cross-section dimensions	±0.025 mm (±0.001 in.)
Lengthwise dimensions	+0, -2.5 mm (+0, -0.100 in.)
Angle of notch	±1°
Radius of notch	±0.025 mm (±0.001 in.)
Notch diameter of Type Y specimen	±0.025 mm (±0.001 in.)

FIG. 11 Izod (Cantilever-Beam) Impact Test Specimens, Types X and Y

The flat shall be parallel to the longitudinal centerline of the specimen and shall be parallel to the bottom of the notch within 2:1000.



NOTE—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to longitudinal centerline	90 ± 2°
Cross-section dimensions	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Length of specimen	+ 0, - 2.5 mm (+ 0 - 0.100 in.)
Angle of notch	± 1°
Radius of notch	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Notch depth	± 0.025 mm (.130 ± 0.001 in.)

FIG. 12 Izod (Cantilever-Beam) Impact Test Specimen (Philpot), Type Z

square ends; the side of the specimen which faces up when the specimen is positioned in the anvils (see Note 3); or the portion of the side opposite the notch which is at least 10 mm away from the center line of the notch. No marking shall be done on any portion of the specimen that is visibly deformed during fracture. An electrostatic pencil may be used for identification purposes, but caution must be taken to avoid excessive heat.

NOTE 3—Careful consideration must be given before placing identification marks on the side of the specimen to be placed up when positioned in the anvils. If the test operator is not careful, the specimen may be placed in the machine with the identification marking resting on the specimen supports. Under these circumstances, the energy value obtained will be unreliable.

10. Preparation of Apparatus

10.1 *Daily Checking Procedure*—After the testing machine has been ascertained to comply with Sections 5 and 6, the routine daily checking procedures shall be as follows:

10.1.1 Prior to testing a group of specimens and before a specimen is placed in position to be tested, check the machine by a free swing of the pendulum. With the indicator at the maximum energy position, a free swing of the pendulum shall indicate zero energy on machines reading directly in energy, which are compensated for frictional losses. On machines recording in degrees, the indicated values when converted to energy shall be compensated for frictional losses that are assumed to be proportional to the arc of swing.

11. Verification of Charpy Machines

11.1 Verification consists of inspecting those parts subjected to wear to ensure that the requirements of Sections 5 and 6 are met and the testing of standardized specimens (Notes 4 to 6). It is not intended that parts not subjected to wear (such as pendulum and scale linearity) need to be remeasured during verification unless a problem is evident. The average value at each energy level determined for the standardized specimens shall correspond to the nominal

values of the standardized specimens within 1.4 J (1.0 ft·lbf) or 5.0 %, whichever is greater.

11.2 Verification specimens are available directly from the National Institute of Standards and Technology (NIST) through the Standard Reference Materials program. Other sources of verification specimens may be used provided they conform to Practice E 1271 and their reference value has been established on the three reference machines owned, maintained, and operated by NIST in Boulder, CO.

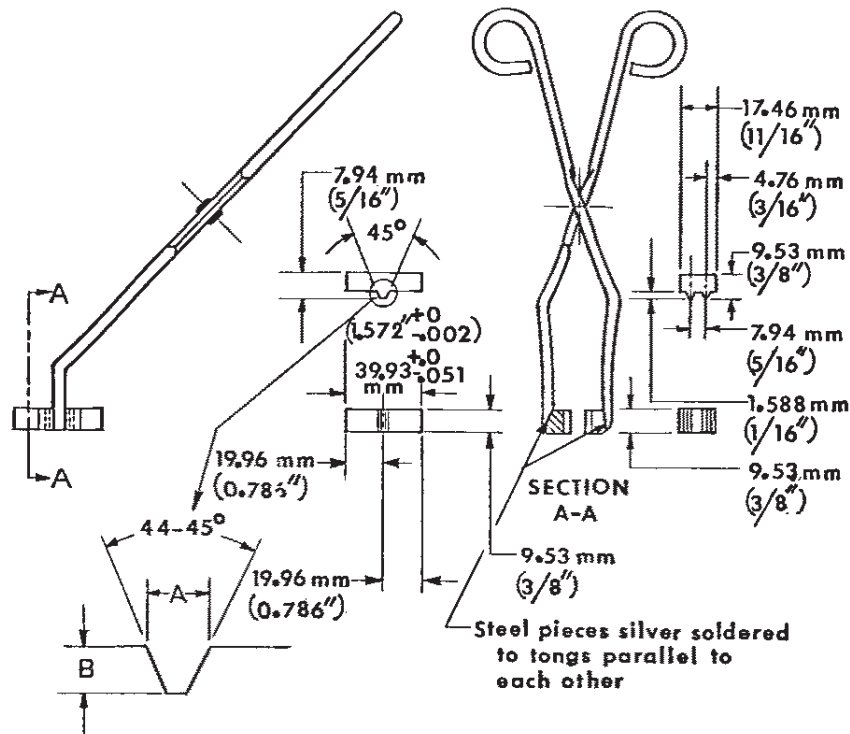
NOTE 4—Standardized specimens are available for Charpy machines only.

NOTE 5—Information pertaining to the availability of standardized specimens may be obtained by addressing: National Institute of Standards and Technology, Office of Standard Reference Materials, B311 Chemistry Building, Gaithersburg, MD 20899. Telephone inquiries may be made to the following number: (301) 975-6776.

NOTE 6—The National Institute for Standards and Technology conducts a Charpy machine qualification program originally developed by the Army.⁵ Under this program standardized specimens are used to certify the machines of laboratories using the test as an inspection requirement on contracts. If the user desires, the results of tests with the standardized specimens will be evaluated. Participants desirous of the evaluation should complete the questionnaire provided with the standardized specimens. The questionnaire provides for information such as testing temperature, the dimensions of certain critical parts, the cooling and testing techniques, and the results of the test. The broken standardized specimens are to be returned along with the completed questionnaire for evaluation to Charpy Program Coordinator, NIST Code 853, 325 Broadway, Boulder, CO 80303. Upon completion of the evaluation, NIST will return a report. If a machine is producing values outside the standardized specimen tolerances, the report may suggest changes in machine design, repair or replacement of certain machine parts, a change in testing techniques, etc.

11.3 The verified-range of a Charpy impact machine shall be described by a lower value and a higher value. Both these values are determined from tests on sets of standardized specimens at two or more levels of absorbed energy.

⁵ Driscoll, D. E., "Reproducibility of Charpy Impact Test," *Symposium on Impact Testing*, ASTM STP 176, ASTM, 1955, p. 170.



NOTE—Unless otherwise shown, permissible variation shall be ± 1 mm (0.04 in.).

Specimen Depth, mm (in.)	Base Width (A), mm (in.)	Height (B), mm (in.)
10 (0.394)	1.60 to 1.70 (0.063 to 0.067)	1.52 to 1.65 (0.060 to 0.065)
5 (0.197)	0.74 to 0.80 (0.029 to 0.033)	0.69 to 0.81 (0.027 to 0.032)
3 (0.118)	0.45 to 0.51 (0.016 to 0.020)	0.36 to 0.48 (0.014 to 0.019)

FIG. 13 Centering Tongs for V-Notch Charpy Specimens

11.3.1 Values of impact energy outside the verified range shall be reported as approximate.

11.3.2 With the exception stated in 11.2.2.4, the lower limit of the verified range shall be the greater of:

11.3.2.1 One half the certified value of the lowest-value standardized specimen set tested, or,

11.3.2.2 On an analogue scale, five times the difference between the energy values represented by the graduation marks on either side of the pointer position when the lowest value from the standardized specimens is read, or,

11.3.2.3 On a digital scale, 25 times the least count of the digital display or printout when the lowest value from the standardized specimens is read.

11.3.2.4 If the lowest value of standardized specimens commercially available has been tested, then 11.2.2.1 does not apply.

11.3.3 With the exception stated in 11.2.3.3, the upper value of the verified range shall be the lesser of:

11.3.3.1 Eighty percent of the maximum value of the scale being tested, or,

11.3.3.2 1.5 times the certified value of the highest level standardized specimens tested.

11.3.3.3 If the highest value of standardized specimens commercially available has been tested, then 11.2.3.2 does not apply.

11.3.3.4 Standardized specimens whose certified value is

greater than 80 % of the maximum value on the scale being used shall not be tested.

11.3.4 If the ratio of the higher certified value to the lower certified value of the two levels of standardized specimens is greater than four, testing of a third set of intermediate energy level specimens, if commercially available, is required.

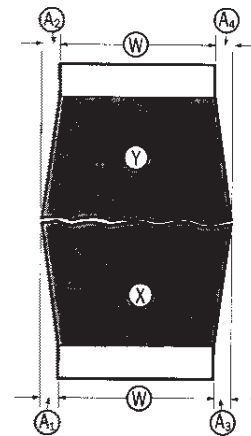
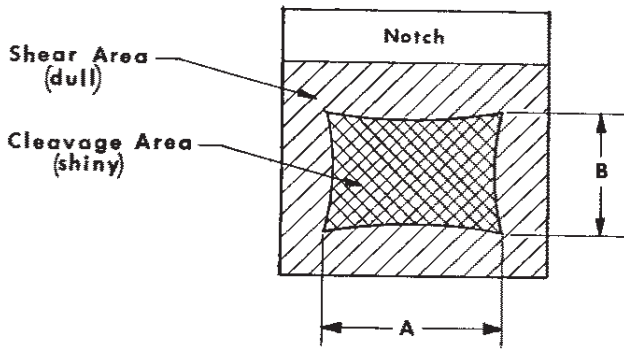
11.4 *Frequency of Verification*—Charpy machines shall be verified within one year prior to the time of testing. Charpy machines shall also be verified immediately after replacing parts that may affect the measured energy, after making repairs or adjustments, after they have been moved, or whenever there is reason to doubt the accuracy of the results, without regard to the time interval.

11.4.1 The accuracy of a Charpy machine shall be rechecked using standardization specimens (see 11.1) when parts that may affect the measured energy are removed from the machine and then reinstalled without modification (for example, when the tup or anvils are removed to permit use of a different tup or set of anvils and then are reinstalled).

12. Procedure

12.1 The Daily Checking Procedure (Section 10) shall be performed at the beginning of each day or each shift.

12.2 *Charpy Test Procedure*—The Charpy test procedure may be summarized as follows: the test specimen is removed from its cooling (or heating) medium, if used, and positioned on the specimen supports; the pendulum is released without



NOTE 1—Measure average dimensions A and B to the nearest 0.5 mm or 0.02 in.

NOTE 2—Determine the percent shear fracture using Table 1 or Table 2.

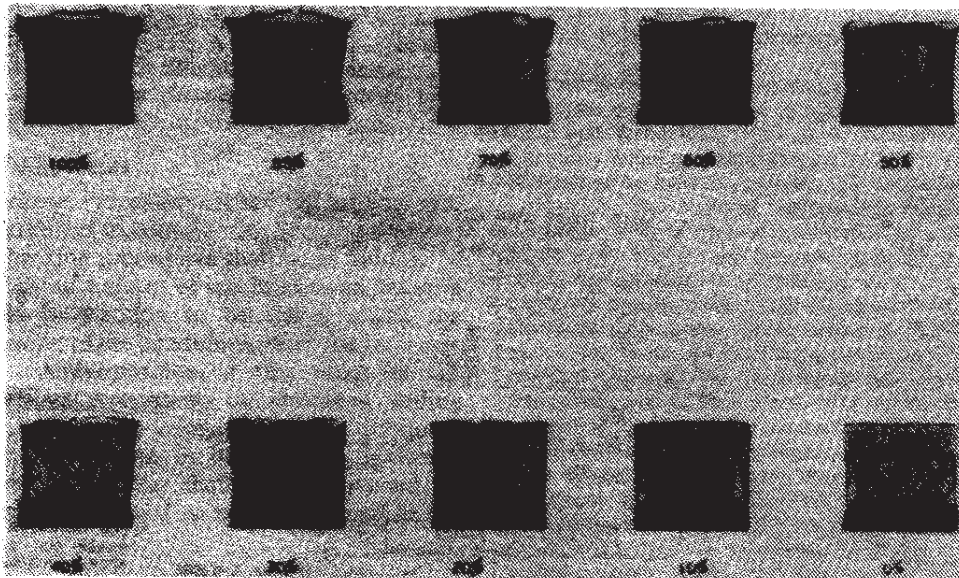
FIG. 14 Determination of Percent Shear Fracture

FIG. 16 Halves of Broken Charpy V-Notch Impact Specimen Illustrating the Measurement of Lateral Expansion, Dimensions A₁, A₂, A₃, A₄ and Original Width, Dimension W

vibration, and the specimen is broken within 5 s after removal from the medium. Information is obtained from the machine and from the broken specimen. The details are described as follows:

12.2.1 *Temperature of Testing*—In most materials, impact values vary with temperature. Unless otherwise specified, tests shall be made at 15 to 32°C (60 to 90°F). Accuracy of results when testing at other temperatures requires the following procedure: For liquid cooling or heating fill a

suitable container, which has a grid raised at least 25 mm (1 in.) from the bottom, with liquid so that the specimen when immersed will be covered with at least 25 mm (1 in.) of the liquid. Bring the liquid to the desired temperature by any convenient method. The device used to measure the temperature of the bath should be placed in the center of a group of the specimens. Verify all temperature-measuring equipment at least twice annually. When using a liquid medium, hold



(a) Fracture Appearance Charts and Percent Shear Fracture Comparator



(b) Guide for Estimating Fracture Appearance

FIG. 15 Fracture Appearance

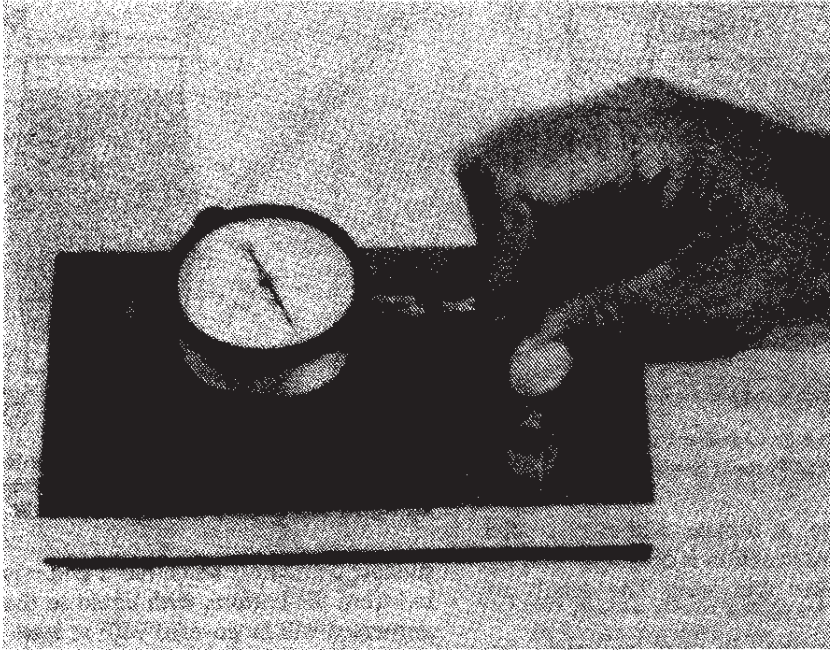


FIG. 17 Lateral Expansion Gage for Charpy Impact Specimens

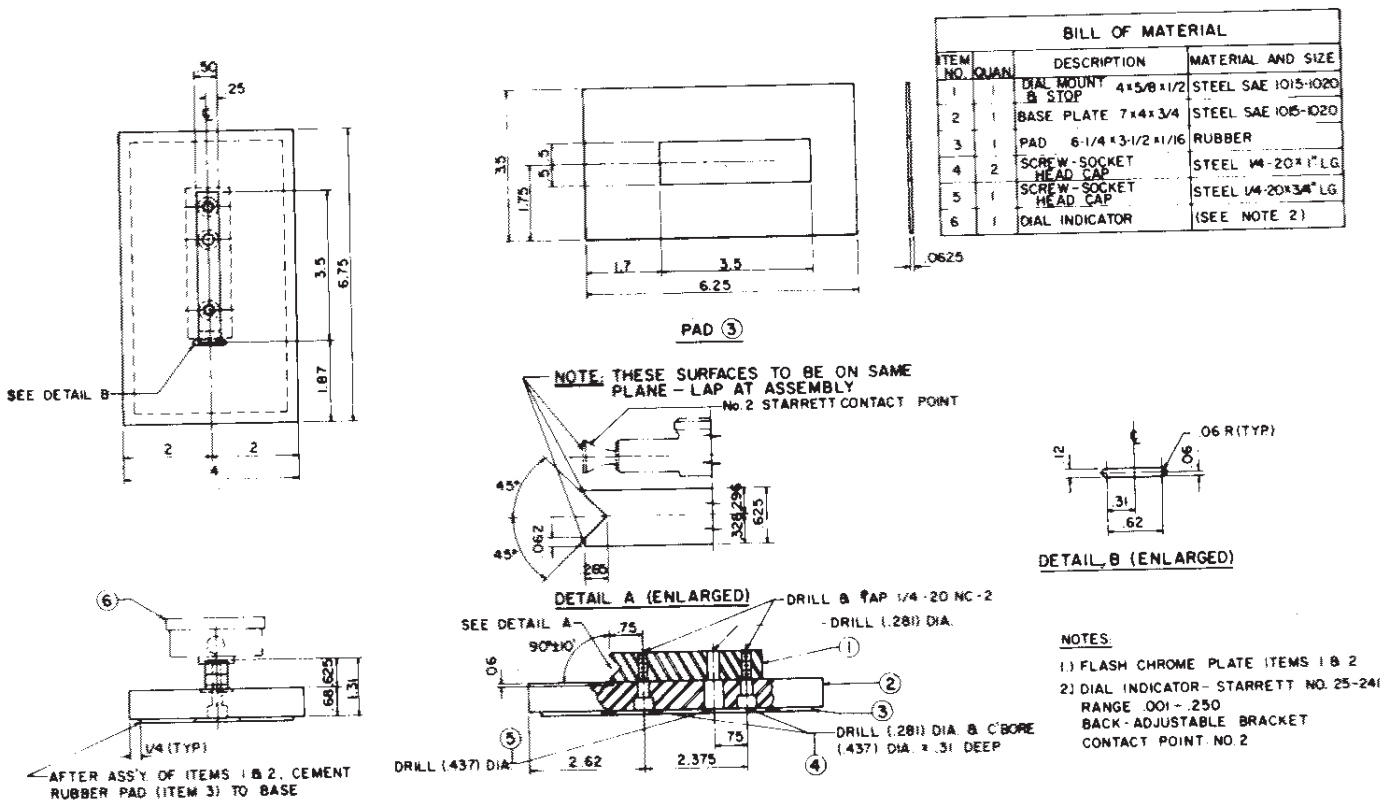


FIG. 18 Assembly and Details for Lateral Expansion Gage



ANEXO 2
PROCEDIMIENTO SOLDADURA ESCO

MII- 4146 Rev.L1

A. Propósito

Fecha Rev.: 08-OCT-2012

Proveer una reseña de las prácticas e instrucciones, tanto de las requeridas como de las recomendadas, para reparar piezas con soldadura; ordenadas por aleación específica y/o designación de material, para productos no cubiertos por procedimientos especiales detallados de soldadura.

1. En cualquier ocasión en que un soldador tenga dudas respecto a la manera o técnica apropiada para hacer una soldadura, debe consultar a su supervisor o al Departamento de Metalurgia de ESCO de inmediato.
2. Esta guía debe ser usada en conjunto con el MII-4149 (Procedimientos de tratamiento térmico ESCO) que enumera temperaturas de proceso para aleaciones específicas. También se debe utilizar en conjunto con todos los MII específicos a cada producto. En todos los casos, los tratamientos térmicos post-soldadura deben ceñirse a la guía MII-4149 y/o a las recomendaciones **por escrito** del Laboratorio de Metalurgia de ESCO.

- >> 3. ***Para instrucciones de soldadura en mecanizados/maquinados, ver MII-4437.***

B. Procesos de soldadura y abreviaciones de ESCO

Fecha Rev.: 14-ABR-1992

GMAW: Soldadura de arco metálico con gas
—también conocida como MIG (Metal Inert Gas)

GTAW: Soldadura de arco, tungsteno y gas
—también conocida como TIG (Tungsten Inert Gas)

SMAW: Soldadura al arco con electrodos recubiertos (varilla recubierta con fundente)

FCAW: Soldadura al arco con núcleo fundente (alambre con fundente al centro)

C. Abreviaciones de tratamiento térmico

Fecha Rev.: 08-OCT-2012

R: *Raw*; En Crudo; “as cast” (Sin tratamiento térmico)

A: *Annealed*; Recocido

N: *Normalized*; Normalizado

H: *Hardened*; Endurecido

T1: *Temper I*; Revenido I según MII-4149; Alivio de Tensión; *Stress*

T2: *Temper II*; Revenido II según MII-4149; Revenido 610; *Draw Quench*

T3: *Temper III*; Revenido III según MII-4149; Revenido 680; *Draw Back*

S: *Solution Heat Treated*; Recocido de disolución, según MII-4149

NHT: *Normalized Hardened Tempered*; Normalizado, Templado, Revenido —Tratamiento térmico completo

HOA: *Hard Over All*; Endurecido total —La condición de dureza final del producto

MII- 4146 Rev.L1

D. Definiciones de reparaciones con soldadura mayores y menores

Fecha Rev.: 19-OCT-2012

A menos que se indique lo contrario en un MII para un producto específico, se aplicarán las siguientes definiciones:

1. **Reparación Mayor de todas las aleaciones serie 12:** Cualquier defecto que vaya a ser reparado con soldadura, que sea:
 - a) Mayor a 2.5cm (1in.) de profundidad.
 - b) Mayor a 20% del espesor de la sección de la pieza fundida.
 - c) **SOLAMENTE** Para piezas **HOA** :
Cualquier superficie mayor a 77 cm² (12 in²);
SOLAMENTE para que **NO** estén en condición **HOA**:
Cualquier superficie mayor a 320 cm² (50 in²).
Para calcular el área: cualquier par de defectos cuya superficie individual sea menor a 320 cm² (50 in²) y que estén a menos de 15 cm (6in.) de distancia entre sí, se considerarán como un mismo defecto.
 - d) El **área total** de superficie de **todos** los defectos a reparar con soldadura en una pieza, no deberán exceder 320 cm² (150 in²), sin importar el tamaño de cada defecto individual.
 - e) Cualquier defecto lineal o de rechupe.

Nota: Si un defecto, una vez preparado para ser reparado con soldadura, viola cualquiera de los cinco criterios detallados anteriormente, será considerado una Reparación Mayor.

2. **Reparación Menor de todas las aleaciones de la serie 12:** Cualquier defecto que, una vez preparado para reparación con soldadura, no exceda **ninguno** de los cinco criterios detallados anteriormente para una reparación mayor.
3. Las reparaciones mayores y menores de las aleaciones serie 14 se sueldan de la misma manera (ver tablas de aleaciones).
4. Las reparaciones mayores y menores de las aleaciones serie 01 se sueldan todas de la misma manera **a menos que se especifique otra cosa en las tablas de aleaciones**.
5. Para las reparaciones mayores y menores de la aleación 18CR aplican los mismos puntos 1 y 2 (arriba) que para las aleaciones de la serie 12.
6. No se permite soldar en la aleación 35S, ni en la 33PI.

MII- 4146 Rev.L1

E. Instrucciones generales: Reparación con soldadura Fecha Rev.: 01-Feb-2012

1. Preparación del metal base

- A. La cavidad a soldar deberá estar libre de suciedad, grasa, pintura, escoria, y de otras materias extrañas.
- B. El ángulo total entre las paredes de una cavidad debe ser de mínimo 30 grados y el radio inferior deberá ser de mínimo 6,4 mm (1/4 in.).

2. Medición de temperatura

- A. Medir las temperaturas de precalentamiento y la temperatura entre pasadas de soldadura, en el metal base, a una distancia mínima de 51 mm (2 in.) de la cavidad de la soldadura, y a un mínimo de 75 mm (3 in.) del inicio de la siguiente pasada de soldadura.
- B. La medición de temperatura se realiza mediante pirómetros de contacto o crayones indicadores de temperatura (Tempilstiks). No se permite la medición con pistolas o sensores infrarrojos.

3. Procesos de soldadura

Los procesos utilizados para la reparación con soldadura deberán incluir SMAW, GMAW (ambas, la estándar y la de arco pulsado), FCAW, y GTAW.

4. Material de relleno

Los materiales de relleno que se utilizan para la reparación con soldadura son electrodos recubiertos de un diámetro máximo de 6,4 mm (1/4 in.); alambre de núcleo fundente con un diámetro máximo de 2,8 mm (7/64 in.); o alambre sólido con un diámetro máximo de 1,6 mm (1/16 in.).

Los tipos de material de relleno a ser utilizados serán los designados en las tablas de aleaciones, o en los planos de fabricación; o cualquier material de relleno equivalente que haya sido testeado y que cuente con la aprobación por escrito del Departamento Metalúrgico de ESCO, antes de que sea utilizado en la producción de piezas.

Nota: Todos los materiales de relleno para productos de ingeniería ESCO deben ser testeados y aprobados según los requisitos de los MII-4121 y/o MII-4122.

5. Características eléctricas

- A. SMAW - Operar con corriente alterna o continua, con la polaridad que especifica el fabricante del material de relleno.
- B. GMAW y FCAW - Operar con corriente continua y polaridad invertida. Es decir, el electrodo que guía se conecta al terminal positivo de la máquina de soldar.

Nota: La tasa de flujo de gas para las soldaduras GMAW y FCAW será de 35-55 cfm (pies cúbicos por minuto), independiente del tipo de gas utilizado.

MII- 4146 Rev.L1**6. Posición**

Siempre que sea posible, la reparación con soldadura se hará en posición plana u horizontal. Las soldaduras SMAW, FCAW, y GMAW de arco pulsado, pueden hacerse en posición vertical cuando se requiera.

7. Técnica

- A. Las soldaduras de reparación consistirán preferentemente de cordones de soldadura de arrastre.
- B. Las soldaduras en zig-zag se permiten dentro de los siguientes límites:
 - 1) SMAW- El ancho máximo de cada bolita de soldadura que compone el cordón no deberá exceder los 19,1 mm (3/4 in.), o 4 veces el diámetro del alambre de núcleo fundente, lo que sea menor.
 - 2) GMAW y FCAW- La anchura máxima del cordón no deberá exceder los 31,8 mm (1¼ in.).
- C. Cada bolita que compone un cordón de soldadura debe fundirse suavemente a la bolita contigua o a la superficie base del metal.
- D. Retire todos los defectos inaceptables (cráteres por falta de material, porosidad en la soldadura, picaduras, etc.) de las superficies de soldadura y de las paredes laterales antes de proceder con la siguiente soldadura.

8. Limpieza

- 1. Posición plana- Limpie cada pasada de metal de soldadura depositado con un escoriador de pelos, martillos neumáticos, cepillo de alambre de acero, fresa de carburo, esmeril de óxido de aluminio o de carburo-silicio con base de resina, o disco esmerilador de circonio.
- 2. Posición horizontal- Con una inclinación mínima de 30 grados, limpiar después de cada capa de soldadura terminada con cualquiera de los métodos enumerados en el ítem # 1.

MII- 4146 Rev.L1

F. Recomendaciones de corriente (amperaje) y rangos de voltaje para reparaciones con soldadura

Fecha Rev.: 19-OCT-2012

1. Electrodo recubierto (SMAW)

<u>DIAMETRO DEL ELECTRODO</u>	<u>CORRIENTE (AMPERAJE)</u>
2,4 mm (3/32 in)	65-120
3,2 mm (1/8 in)	80-160
4,0 mm (5/32 in)	115-220
4,8 mm (3/16 in)	140-300
5,6 mm (7/32 in)	200-300
6,4 mm (1/4 in)	230-375

2. Electrodo no recubierto (Soldadura general GMAW y FCAW)

<u>DIAMETRO DEL ELECTRODO</u>	<u>CORRIENTE (AMPERAJE)</u>	<u>VOLTAJE</u>
1,2 mm (0,045 in)	210-320	24-31
1,3 mm (0,052 in)	260-350	24-33
1,6 mm (1/16 in)	260-360	24-35
2,4 mm (3/32 in)	360-500	25-35
2,8 mm (7/64 in)	400-550	25-35

3. Electrodo no recubierto (Arco pulsado GMAW)

<u>DIAMETRO DEL ELECTRODO</u>	<u>CORRIENTE (AMPERAJE)</u>		<u>VOLTAJE</u>
	<u>FONDO</u>	<u>PICO DEL PULSO</u>	
0,9 mm (0,035 in)	75-130	18-20	34-36
1,2 mm (0,045 in)	100-180	19-23	37-39

G. Procedimiento de soldadura de alivio de tensión, y de soldadura de relleno

Fecha Rev.:19-OCT-2012

1. Alcance

La técnica de soldadura de alivio de tensión se aplicará en todas las soldaduras de relleno que se realizan en piezas fundidas para mejorar el calce, y en las soldaduras para la fijación de orejas de izaje.

2. Material de relleno

A) El material de relleno y los parámetros de soldadura serán los mismos utilizados para la soldadura de base.

B) Cuando se utilizan electrodos recubierto para rellenar, ***se deben manipular siguiendo las instrucciones de la sección J.***

>>

3. Posición

Siempre que sea posible, realizar todas las soldaduras que requieran técnicas de soldadura de alivio de tensión en posición plana.

4. Preparación del Metal Base

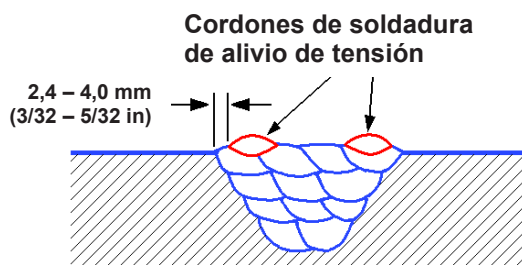
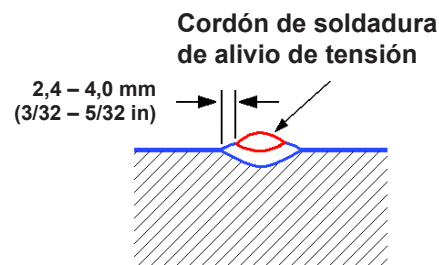
Las áreas que se van a soldar deben estar libres de suciedad, grasa, escoria y otras materias extrañas, incluyendo pintura.

MII- 4146 Rev.L1**5. Características eléctricas**

SMAW será operada con corriente alterna o corriente continua, con la polaridad tal como la especifica el fabricante. Si el fabricante ofrece la posibilidad de utilizar corriente continua con polaridad normal, de preferencia se utilizará así.

6. Técnicas de soldadura

- A) Las soldaduras para agregar material (levantar con soldadura) deben consistir exclusivamente de cordones de soldadura de arrastre.
- B) Las bolitas que componen los cordones de soldadura utilizados para agregar material, se deben aplicar de manera tal que las coronas de las bolitas estén lo más cerca posible unas de otras. Las bolitas de soldadura deben estar muy unidas entre sí, cada una penetrando por completo la bolita anterior.
- C) En los cordones de soldadura de relleno (de una sola capa) aplique los cordones de soldadura de alivio de tensión alrededor de todo el borde exterior de la almohadilla de soldadura, de modo que el borde del cordón de soldadura de alivio de tensión no entre en contacto con el metal base, y esté alejado de él entre 2,4 mm (3/32 in.) y 4,0 mm (5/32 in.) de distancia.
- D) En soldaduras de un solo cordón (como en la soldadura de orejas de izaje o pinchazos) las bolitas de soldadura de temple se deben ubicar directamente encima de los depósitos de soldadura original, de manera tal que el cordón de soldadura de alivio de tensión esté separado del metal base entre 2,4 mm (3/32 in.) y 4,0 mm (5/32 in.) de distancia. El cordón de soldadura de alivio de tensión no debe tocar el metal base.

Soldaduras de varias pasadas**Soldaduras de una pasada****7. Temperatura de precalentado y entre pasadas de soldadura**

Para la aplicación de cordones de soldadura de alivio de tensión y de soldadura de relleno, las temperaturas de precalentamiento y la temperatura base de la pieza deberán ser aquellas especificadas para reparaciones menores en cada tabla de aleación.

MII- 4146 Rev.L1

H. Normas de aceptación

Fecha Rev.: 20-Jul-2010

1. Los siguientes requisitos se aplican a todas y cada una de las capas de soldadura, incluyendo la primera y la final. "Una capa" generalmente se refiere a un solo plano de cordones de soldadura de arrastre, aunque a veces, la forma resultante sea una capa curva.
2. La soldadura se deberá realizar según los requerimientos de este MII. Sin embargo, puede que algunos productos tengan diferentes requerimientos. Si fuese así, esos requisitos se especificarán en el plano del producto o en el MII aplicable al producto, y tendrán prioridad por sobre aquellos que aquí se enumeran.
 - A) **Discontinuidades lineales:** No se permiten grietas, incluyendo cráteres por falta de material, en las soldaduras o zonas afectadas por el calor. Otras discontinuidades lineales en estas áreas no podrán exceder de 6 mm (1/4 in.) de largo. La frecuencia de las inspecciones por partículas magnéticas para las zonas de soldadura se especifica en el MII aplicable al producto.
 - B) **Porosidad:** La porosidad no deberá exceder a cuatro agujeros por cada 100 mm (4,0 in.) de longitud de cada cordón de soldadura. No deberá haber ningún espacio que exceda 1,5 mm (1/16 in.) de diámetro.
 - C) **Escoria:** No se permite escoria visible en ninguna capa.
 - D) **Picaduras: Las picaduras** no deberán exceder lo siguiente:

<u>Espesor del material</u>	<u>Picadura máxima</u>
Hasta e inclusive 6 mm (1/4 in.)	10% del espesor del material
6 mm - 13 mm (1/4 in. – 1/2 in.)	0,8 mm (1/32 in.)
Sobre 13 mm (1/2 in.)	1,5 mm (1/16 in.)

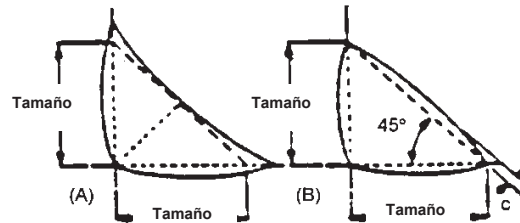
- E) **Levantados (o sopladados):** Los sopladados o levantados de soldadura no deberán exceder 1,5 mm (1/16 in.) más allá de la línea de fusión de la soldadura.
- F) **Tamaño de la soldadura:** El tamaño nominal de un filete de soldadura se especificará en el plano de la pieza correspondiente. Las tolerancias serán las que se especifican a continuación:

<u>Rango nominal de tamaños</u>	<u>Tolerancia</u>
Bajo 10 mm (3/8 in.)	+3 mm a -1 mm (+1/8 in. a -1/32 in.)
10 mm a 19 mm (3/8 in. a 3/4 in.)	+3,0 mm a -1,5 mm (+1/8 in. a -1/16 in.)
Sobre 19 mm (3/4 in.)	+6 mm a -3 mm (+1/4 in. a -1/8 in.)

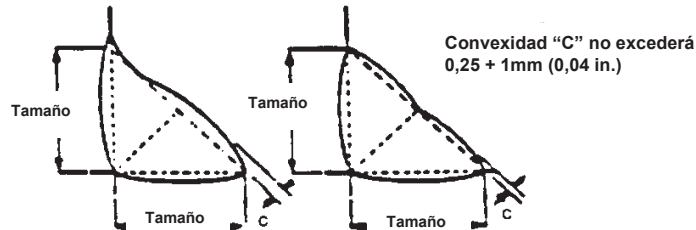
MII- 4146 Rev.L1

I. Ejemplos de perfiles de soldadura

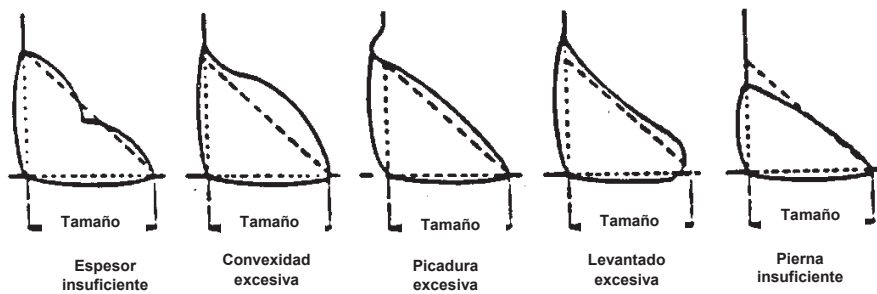
Fecha Rev.: 12-Sep-2005



Perfiles deseables para las soldaduras de filete



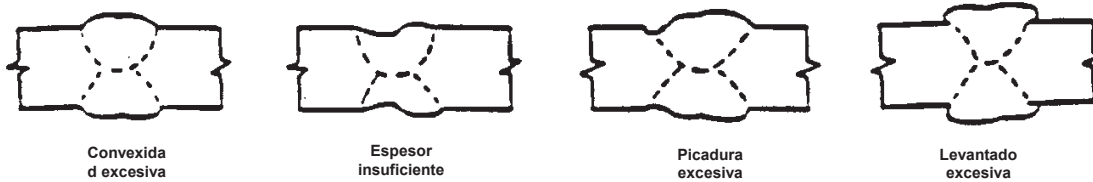
(C) Perfiles aceptables para las soldaduras de filete



(D) Perfiles defectuosos de soldaduras de filete



(E) Perfil de soldadura de tope aceptable



(F) Perfiles de soldadura de tope defectuosos

MII- 4146 Rev.L1**J. Procedimiento para electrodos recubiertos**

Fecha Rev.: 08-OCT-2012

1. Alcance

- A) Este procedimiento detalla los requisitos para la manipulación, almacenamiento, entrega, y (cuando sea necesario) de acondicionamiento de electrodos recubiertos utilizados para soldadura de reparación de Productos Patentados ESCO de aleaciones de bajo contenido de carbono.

2. Manejo y almacenaje

- A) Los electrodos recubiertos mencionados anteriormente se deberán comprar y recibir en recipientes herméticamente cerrados, con un certificado de que su contenido máximo de humedad del 0,2%.
- B) Una vez extraídos del envase sellado original, los electrodos recubiertos se expedirán para su utilización o se colocarán inmediatamente en un horno de almacenaje.

3. Entrega, almacenaje y calentamiento de electrodos

- A) Los electrodos recubiertos deben ser utilizado dentro de las primeras dos (2) horas después de abierto el envase o se deben mantener en un horno ventilado de almacenaje de varillas a una temperatura nominal de 65°C (150°F). Si los electrodos no se pueden utilizar dentro de un período de tiempo de 2 horas, y no hay hornos de almacenaje disponibles, deberán ser calentados antes de su posterior uso (ver ítem #C abajo).
- B) La temperatura del horno de almacenamiento deberá mantenerse en un rango de 120°C - 150°C (250°F - 300°F).
- C) Los electrodos recubiertos que requieran calentado deberán ser calentados a una temperatura nominal de 260°C (500°F) por un período de mínimo 60 minutos. Al finalizar el calentado, deberán ser transferidos al horno de almacenamiento cuando todavía están calientes.
- D) Los controles del horno y/o instrumentos de registro de temperatura deben ser calibrados por personal calificado, y esto debe estar señalado en el equipo (etiquetado), como mínimo cada 6 meses.

MII- 4146 Rev.L1

K. Calificación de los soldadores

Fecha Rev.: 08-OCT-2012

1. Responsabilidad:

El Gerente, o Supervisor de manufactura, será responsable de que cada soldador de productos de ingeniería ESCO cumpla estos requerimientos, y de mantener al día un archivo con los papeles de capacitación y de calificación para el puesto.

2. Procedimiento

A) Capacitación:

Cada candidato a la calificación deberá recibir un mínimo de dos (2) semanas (80 horas) de capacitación supervisadas por el supervisor de soldadura, el *team leader* de soldadura, o un soldador calificado con experiencia.

B) Examen:

Al completar el programa de capacitación, el candidato deberá pasar un examen de habilidades de soldadura. Deberá presentar una placa de prueba típica de la Sociedad Norteamericana de Soldadores (American Welding Society, AWS) para los siguientes métodos de soldadura: Arco con electrodos recubiertos (SMAW), Arco metálico con gas (GMAW) o para soldadura al arco con núcleo fundente (FCAW). No se requieren pruebas de calificación específicas para el método de arco, tungsteno y gas (GTAW), ni para el proceso de arco sumergido (SAW).

Para que un soldador lleve a cabo cualquier soldadura de producción con cualquiera de los tres procesos comunes (FCAW, GMAW, y SMAW), debe primero pasar primero a la calificación para dicho proceso.

Las placas de prueba completadas se someterán a pruebas no destructivas o ensayos mecánicos ciñéndose a lo que se especifica en la ilustración #1, y se examinarán siguiendo los criterios definidos en el párrafo **B.iii**. Si fuera necesario, se permitirá un ciclo de reparación para cada placa de prueba.

Fallar la prueba de la placa dará lugar a nuevos ciclos de capacitación y a una nueva prueba.

1. Pruebas de calificación para soldadores

A. Pre-requisitos para calificación

- 1) **Vista:** Todo el personal de soldadura deberá pasar un examen de la vista. Los postulantes a la certificación deben pasar una prueba de agudeza visual y una prueba de discriminación de color. Los exámenes de la vista deben estar vigentes en el momento de la certificación y se deberán llevar a cabo dos veces al año. Este requisito debe cumplirse en uno o ambos ojos.
 - La agudeza visual a corta distancia, natural o corregida debe ser tal que el individuo sea capaz de leer las letras de J-2 en la Tabla Optométrica de Jaeger para lectura a corta distancia, o un examen equivalente.
 - La prueba de discriminación de color Ishihara o un examen equivalente.

MII- 4146 Rev.L1

- 2) Las ayudas correctivas utilizadas para las pruebas de la vista se debe utilizar durante el examen de certificación y durante todas las soldaduras posteriores.

B. Examen de desempeño

- i. Cada soldador debe completar dos placas de prueba de soldadura AWS D1.1 (ver más abajo). Una de las pruebas debe ser completada con el proceso de soldadura al *Arco con núcleo fundente* (FCAW) o con el proceso de soldadura de *Arco metálico con gas* (GMAW), y la otra placa con el método de soldadura de *Arco con electrodos recubiertos* (SMAW). Si fuera necesario, se permite un ciclo de reparación para cada placa de prueba.
- ii. Cada placa de prueba será sometida a un examen visual y de radiografía, o a ensayos de torsión.
- iii. Criterios de aceptación
- 1) Visual
 - Sin grietas
 - Picaduras de máximo de **1,5 mm (1/16 in.)**
 - Porosidad máxima de **3 mm (1/8 in.)** de diámetro y no mas de una por cada 10 cm (4 in.) de soldadura
 - 2) Radiografía
 - Las indicaciones de menos de 1,5 mm (1/16 in.) no serán evaluadas
 - Cualquier discontinuidad de porosidad, escoria o fusión no deberá exceder 6 mm (1/4 in.)
 - La distancia entre porosidades relevantes y/o discontinuidades de tipo de fusión no deberá ser menor a 12 mm (1/2 in.)
 - Sin grietas
 - 3) Pruebas de torsión
 - No presentará discontinuidades que excedan 3 mm (1/8 in.) medido en cualquier dirección.
 - Suma máxima de 10m (3/8 in.) de las dimensiones mayores de todas las discontinuidades que excedan 1 mm (1/32 in.), y que a la vez sean menores o iguales a 3 mm (1/8 in.)

>>
>>

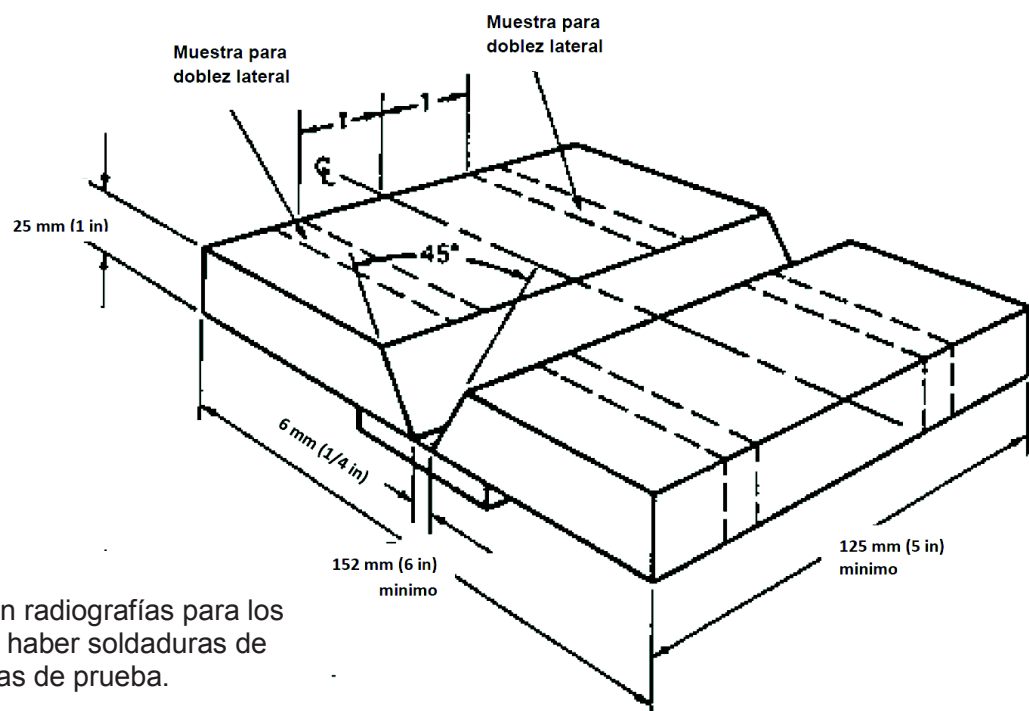
MII- 4146 Rev.L1

CALIFICACION DE SOLDADOR PARA AWS D1.1

“CODIGO DE SOLDADURA ESTRUCTURAL”

1. Un examen de calificación separado para cada proceso a utilizar.
2. Debe utilizar una placa de mínimo 25 mm (1 in.) de espesor (ver ilustración) para cada examen; esto calificará al soldador para espesor ilimitado.
3. La placa de prueba completada deberá pasar inspecciones visuales y radiográficas, o inspección visual y 2 dobleces laterales.
4. Los electrodos 7018 o 7016 calificarán al soldador para todos los otros electrodos de tipo varilla, y se puede utilizar alambre de la serie E70 para calificar para los métodos GMAW o FCAW.

ILUSTRACION



Notas:

- 1) Cuando se utilicen radiografías para los exámenes, no debe haber soldaduras de pinchazo en las áreas de prueba.
- 2) El espesor de la barra posterior debe ser de mínimo 6 mm (1/4 in) y máximo 10 mm (3/8 in); el ancho de la placa de soporte deberá ser de mínimo 75 mm (3 in) cuando no se vaya a retirar para la radiografía, de otro modo, el mínimo será de 25 mm (1 in).

MII- 4146 Rev.L1**C. Capacitación post-prueba**

Después de haber completado la capacitación y pruebas requeridas de manera exitosa, el candidato a soldador podrá ser asignado como soldador aprendiz del área de producción, a fin de completar un mínimo de tres (3) meses de entrenamiento supervisado en el puesto de trabajo.

D. Registros

El supervisor de área mantendrá los archivos con los registros de capacitación y las pruebas de calificación para cada soldador de productos de ingeniería ESCO. Se enviará una copia del archivo al Departamento de Control de Calidad (Quality Assurance Department, QAD), con fines exclusivamente informativos. Todos los registros de capacitación estarán disponibles cuando los soliciten auditores internos y externos.

E. Exenciones de capacitación

- 1) El candidato podrá quedar exento de los requisitos mínimos de capacitación si éste ha tenido experiencia de trabajo en soldadura y/o capacitación anterior a iniciar el Programa de Certificación de Soldadores para Productos de Ingeniería ESCO.
- 2) El supervisor de área será responsable de evaluar si se necesita capacitación adicional o no.
- 3) El Departamento de Control de Calidad de cada planta (Quality Assurance Department) debe estar de acuerdo con, y aprobar, toda exención de capacitación.
- 4) La certificación de soldador de productos de ingeniería se basará en la capacidad del candidato para pasar las pruebas requeridas.
- 5) Como respaldo a la exención de capacitación, se debe documentar y mantener en el expediente del candidato toda la experiencia previa y/o cualquier otra capacitación, la capacitación adicional si fuera el caso, y la aprobación de exenciones por parte de Control de Calidad (QAD).
- 6) En caso de que un soldador de productos de ingeniería calificado no haya realizado soldaduras de producción durante un período superior a seis (6) meses consecutivos, el *Team Leader* de Soldadura deberá volver a verificar la aptitud para soldar del individuo y también hacer un repaso de los requisitos de seguridad y especificaciones requeridas, antes de que la persona vuelva a hacer soldadura de producción. De haber algún cuestionamiento respecto la capacidad del soldador que se reintegra de cumplir con los requerimientos de calidad, el Departamento de Control de Calidad va a tener la autoridad para exigir otra prueba de calificación.

F. Reciprocidad con las antiguas certificaciones ESCO

- 1) Se considerará que cualquier soldador que esté, o haya sido certificado por ESCO, de acuerdo a las normas nacionales, cumple con los requisitos para calificar como Soldador de Productos de Ingeniería ESCO.

MII- 4146 Rev.L1

- 2) El Departamento de Control de Calidad (QAD) de la planta deberá entregar una copia del registro de las pruebas que correspondan al supervisor de área. Estos expedientes le servirán al candidato como un historial de capacitación y de las pruebas efectuadas.



MII- 4146 /L

L. Tabla comparativa internacional de materiales de relleno Fecha Rev.: 01-FEB-2012

SMAW						
País	EE.UU.(USA)	Canadá	China	AUS/NZ	Reino Unido (UK)	Japón
Norma	AWS A5.1	CSA W48	GB/T 5117	AS/NZS 1553.1	CEN EN499	JIS 5117
Material	E7016	E4916	E5016	E4816-x	E38xB33	D5016
	E7018	E4918	E5018	E4818-x	E38xB32	--
Norma	AWS A5.5	CSA W48	GB/T 5118	AS/NZS 15503.2	CEN EN757	
Material	E11018M	E7618-M	E7518-M	E7618-M	E69xMn2NiCrMo	--
Norma	AWS A5.4		GB/T 983	AS/NZS 1553.3	CEN EN1600	JIS Z3221
Material	E308-16	--	E308-R	E308	E19 9-R	D308

FCAW						
País	EE.UU.(USA)	Canadá	China	AUS/NZ	Reino Unido (UK)	Japón
Norma	AWS A5.29	CSA W48	GB/T 10045	AS 2203.1	EN 758	JIS 5117
Material	E70T-1	E492T-1	E500T-1	TP GypW50x	T42 x R M	YFW-y50xR
	E70T-5	E492T-5	E500T-5	TP GypW50x	T42 x B M	--
	E71T1-1	E491T-1	E501T-1	TP GypW50x	T42 x R M	YFW-y50xR
Norma	AWS A5.29		GB/T 17493	AS 2203.1		
Material	101TM (E81T1-K2M)	--	E550T5-K2	W554A.K2	--	--
Norma	AWS A5.22	CSA W48	GB/T 17853	AS 2203.1	EN 758	JIS Z 3323
Material	E308T	--	E308T	--	--	YF 308

GMAW						
País	EE.UU.(USA)	Canadá	China	AUS/NZ	Reino Unido (UK)	Japón
Norma	AWS 5.28	CSA W48.4	GB/T 8110	AS 2717.1	EN440	JIS Z 3316
Material	E70S-3	ER49S-3	ER50-3	ES3	G2Si	--
	E70S-6	ER49S-6	ER50-6	ES6	--	--
	ER100S-1	--	ER69-1	--	G3Ni1,5Mo	YGT 70
Norma	AWS A5.9	CSA W48.4	GB/T 17854	AS 2717.3	EN12534	JIS Z 3321
Material	ER308	ER308	H0Cr21Ni10	ES308	--	Y308


DOSSIER DE CALIDAD N° 001**FABRICACIÓN DE:**

- PROBETA DE RECUPERACIÓN POR SOLDADURA DE GET DE CUCHARÓN DE 74 YD³ DE UNA PALA P&H 4100 XPC

DIRIGIDO A: Universidad Católica de Santa María**PRESENTADO POR:**

- Ninacondor Narvaez, Christian
- Lopez Perez, Christopher

DICIEMBRE 2016



**ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE
SOLDADURA
“WPS”**

The logo of Universidad Católica Santa María is a circular emblem. It features a central shield with a cross above it. The shield is flanked by two crossed keys. Below the shield is a banner with the year '1961'. The words 'UNIVERSIDAD CATOLICA' and 'SANTA MARIA' are written in a semi-circle above the shield. The entire logo is rendered in a light gray color.

Welding Procedure Specification (WPS)

Sheet 1 of 3

Code: AWS D1.1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA

Tesis: Mejora en la Recuperación Para la Optimización de la Vida Útil de Cucharón de 74 YD3 de una Pala P&H 4100 XPC

Identification #:

0001

WPS Prequalified:

Yes

Supporting PQR No.(s):

N/A

Welding Process:

FCAW

Process Type:

Manual

Position(s):

1G

Base Metal Part I (Material Spec., type or grade):

ESCO 12-S

Base Metal Part II (Material Spec., type or grade):

Qualified Thickness and Diameter Range:

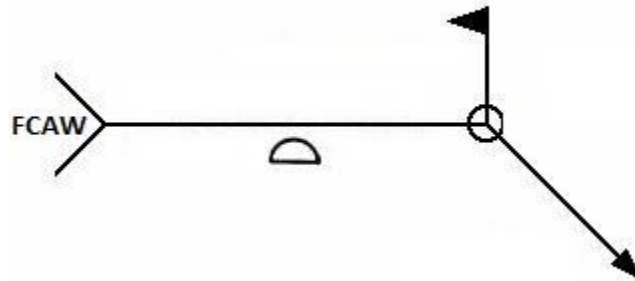
Groove (Fillet): mm (in)

Filler Metals:

AWS Classification/AWS Specification:

E71t

Joint Details/Sketch:



Joint Design Used: mm (in)

Root Opening G: 0

Root Face RF: $\geq 3 \text{ mm}$ (1/8 in.)

Groove Angle: 60°

Radius (J-U): N/A

Weld Type:

Partial Joint Penetration Groove Weld

Joint Type:

Butt Joint Corner Joint

Backing Option:

Welded without backing

Backing Material:

N/A

Back Gouging Method:

N/A

Electrical Characteristics:

Current Type/Polarity: DCEP

Transfer Mode (FCAW):

Tungsten Electrode (FCAW):

Type: N/A

Size: mm (in) N/A

Shielding:

Gas Composition (Flux for SAW): Ar + 5 to 15% CO2

Gas Flow Rate: lt/min. (CFH) 40 to 50 CFH

Gas Cup Size: 5/8 in.

Welding Procedure

Weld Layers	Pass No.	Process	Filler Metal Classification	Filler Metal Diameter mm (in)	Current Amps	Current Type & Polarity	Wire Feed Speed (in/min)	Volts	Travel Speed (in/min)	Remarks [Heat Input] J/mm (J/in)
1	1	FCAW	E71T	1.2 mm (0.052)	210-320	DCEP	100-120	24 - 31	4-6	

Technique:

Stringer or Weave Bead: *Stringer Bead*

Contact Tube to Work Distance: *1 to 1-1/8 in.*

Initial/Interpass Cleaning: *Wire Brush, Grind*

Peening: *N/A*

Number of Electrodes: *Single*

Electrodes Spacing: *Longitudinal: N/A*

Lateral: N/A

Angle: N/A

Heat Treatment:

Preheat Temp. Min °C (°F): *120 °C*

Interpass Temp. Min/Max °C (°F): *260 °C*

Postweld Heat Treatment: Temp. °C (°F): *N/A*

Time: *N/A*

Additional Notes:

The end of contact tube recommended to be recessed in the cup nozzle at least 6 mm (1/4 in.)

**Manufacturer/ Contractor
Welding Engineer:**

Name: *Ninacondor Narvaez Christian*

Title:

Date: *12/12/2016*

Authorized by:

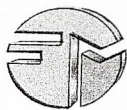
Name: *LOPEZ PEREZ, CHRISTOPHER*

Title:

Date: *12/12/2016*



**REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL
SOLDADOR
“WPQ”**



FIRST MECH S.A.C.
Av. Portada del Sol 856 - Lima 36
RUC20504749682

**FORMATO DE CALIFICACION
DE SOLDADORES Y OPERADORES
A.W.S D1.3**

WPQR N° 01/2014

HOJA: 1 de 1
EMISION: 19/05/14
REVISION: 0

Nombre: MESIAS A. GUERRERO BUSTAMANTE DNI: 40336728 N° Estampa: W-02 Fecha: 19/05/2014

Descripcion de la Prueba

Identificacion de WPS desarrollado: FIRST-WPS-01/2014 Cupon de Ensayo Soldadura de produccion
Especificacion de Metal base: ALEACION ESCO 12S Espesor 2,0mm

Condiciones de Ensayo y Limites de Calificacion

VARIABLES DE SOLDADURA	VALORES ACTUALES	RANGO CALIFICADO
Proceso /Tipo [Tabla 4,12, Item (1)]	SMAW	SMAW
Electrodo (simple o multiple) [Tabla 4,12, Item (7)]	Simple	Simple
Polaridad actual	DCEP	DCEP
Posicion [Tabla 4,12, Item (4)]	3G	Ranurada - Plana, horizontal, vertical Filete - Plana, horizontal, vertical
Progresion de Soldadura Vertical [Tabla 4,12, Item (5)]	Ascendente	Ascendente
Respaldo (Si o No) [Tabla 4,12, Item (6)]	Sin respaldo	Sin respaldo
Especificacion del Material		
Metal Base:	ALEACION ESCO 12S	
Espesor (Plancha):		
Raiz	2,0 mm	1,2 mm a 4,7mm
Filete	---	1,2 mm a 4,7mm
Espesor (Del Tubo)		
Raiz	---	---
Filete	---	---
Diametro (Del Tubo)		
Raiz	---	---
Filete	---	---
Metal de Aporte [Tabla 4,12]:		
Especificacion N°	5.1	5.1
Clase	E 7018	E7018
F-N° [Tabla 4,12, Item (2)]	F4	F4
Gas / Tipo de fluido [Tabla 4,12]		
Otros : Shielding : Flux	---	---
Shielding : Electrode-Flux (Class)	---	---

* P= Plana, H=Horizontal, SC= Sobrecabeza

Inspeccion Visual

Aceptado Si (X) No ()

Resultado de la Prueba de Doblez Guiado

Tipo	Resultado	Tipo	Resultado
CARA	Aceptado	RAIZ	Aceptado

Inspeccionado por : JAIME HUERTAS MEDRANO Reporte N° FIRST- 01/2014-TBW
Organización: INGENIERIA DE ENSAYOS SAC Fecha: 19/05/14

Resultado de la Prueba de Filete

Apariencia : Resultado Tamaño del Filete: ---
Prueba Falta en la Raiz --- Macrotech ---
(Describe la localizacion , naturaleza , y tamaño de cualaquier fisura o desgarramiento del especimen)

Inspeccionado por : --- Prueba N° : ---
Organización : --- Fecha : ---

Resultado de la Prueba de Radiografia


Numero de identificacion de Pelicula	Resultado	Comentarios	Numero de identificacion de Pelicula	Resultado	Comentarios
---	---	---	---	---	---

Inspeccionado por : --- Reporte de RT N° ---
Organización: --- Fecha: ---

Certificamos que lo establecido en este registro es correcto y que las probetas de ensayo fueron preparadas, soldadas y probadas de acuerdo con los requisitos de la AWS D1.3

Organización : FIRST MECH S.A.C
Autorizado por: LUIS AVILA

Julio Guérrez S.
CWI / AWS # 10112261
Nivel II SNT-TC-1A



**REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE
PROCEDIMIENTO
“PQR”**

The logo of Universidad Católica Santa María is a circular emblem. It features a central shield with a cross at the top, two open books below it, and a chalice at the bottom. The shield is flanked by two palm trees. A banner at the top of the shield reads 'UNIVERSIDAD CATOLICA' and another banner at the bottom reads 'SANTA MARIA'. The year '1961' is inscribed on a banner at the very bottom of the emblem.

Procedure Qualification Record (PQR)

Sheet 1 of 4

Code: AWS D1.1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TESIS: MEJORA EN LA RECUPERACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE CUCHARÓN DE 74 YD3 DE UNA PALA P&H4100XPC

PQR No.:

Welding Process:

FCAW

Process Type:

Manual

Position:

1G

WPS No.:

Base Metal Part I (Material Spec., type or grade):

Base Metal Part II (Material Spec., type or grade):

Thickness and Diameter (Pipe): mm (in)

Filler Metals:

AWS Classification/AWS Specification:

E71T

Joint Details/Sketch:

Joint Design Used: mm (in)

Root Opening G: 0 to 1/8 in.

Root Face RF : 3 mm (1/8 in.)

Groove Angle: 60 ° (both sides)

Radius (J-U): N/A

Weld Type:

Complete Joint Penetration Groove Weld

Joint Type:

Butt Joint

Backing Option:

Back-gouge to sound metal

Backing Material:

N/A

Back Gouging Method:

Mechanical (Grinding)

Electrical Characteristics:

Current Type/Polarity: DCEP
Transfer Mode (GMAW): N/A
Tungsten Electrode (GTAW):
 Type: N/A
 Size: mm (in) N/A

Shielding:

Gas Composition (Flux for SAW): N/A
Gas Flow Rate: lt/min. (CFH) N/A
Gas Cup Size: N/A

Welding Procedure

Weld Layers	Pass No.	Process	Filler Metal Classification	Filler Metal Diameter mm (in)	Current Amps	Current Type & Polarity	Wire Feed Speed (in/min)	Volts	Travel Speed (in/min)	Remarks [Heat Input] J/mm (J/in)

Technique:

Stringer or Weave Bead: *Stringer and Weave Bead*
Initial/Interpass Cleaning: *Wire Brush, Grinding*
Number of Electrodes: *Single*
Electrodes Spacing: *Longitudinal: N/A Lateral: N/A Angle: N/A*
Contact Tube to Work Distance: *N/A*
Peening: *Not Required*

Heat Treatment:

Preheat Temp. Min °C (°F): *150 °C*
Interpass Temp. Min/Max °C (°F): *150 °C*
Postweld Heat Treatment: Temp. °C (°F): *600 to 620 °C*
Time: *1 Hour per in.*

Additional Notes:

See Postweld Heat Treatment (PWHT) Specification No. PWHT-SMAW-01

Manufacturer/ Contractor
Welding Engineer :

Name:
Title: *Welding Engineer*
Date: *12,12,2005*

Authorized by:

Name:
Title: *QA Manager*
Date: *12,13, 2005*

Test Results

TENSILE TEST

Specimen No.	Width mm (in)	Thickness mm (in)	Area sq. mm (in)	Ultimate Tensile Load kg (lb)	Ultimate Unit Stress MPa (psi)	Character of Failure and Location

GUIDED BEND TEST

Specimen No.	Type of Bend	Results	Remarks

VISUAL INSPECTION:

Appearance: Good appearance

Undercut: No

Piping porosity: No

Convexity: Acceptable

Test Date: 11,11, 2005

Witnessed By: Jim Clark

Other Tests (Notes):

Radiographic-ultrasonic examination:

RT report no: 1230-RT

Result: O.K.

UT report no: 2310-UT

Result: O.K.

FILLET WELD TEST RESULTS:

Max. size single pass:
MacroetchMin. size multiple pass:
Macroetch

1: N/A

1: N/A

2: _

2: _

3: _

3: _

All-weld-metal tension test:

Tensile strength, MPa (psi): N/A

Yield point/strength, MPa (psi): _

Elongation in 2 in.,%: _

Laboratory test no.: _

Welder's name: Welder Guy

Clock No.: 123-12-1234

Stamp No.: JS-02

Tests conducted by: Quality Weld Lab, Inc.

Laboratory Tests Number: TN-46547

Per:

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in conformance with the requirements of Section 4 of AWS D1.1, (Year:2004) Structural Welding Code Steel.

Signed (Manufacturer):

Name:

Title: QA Manager

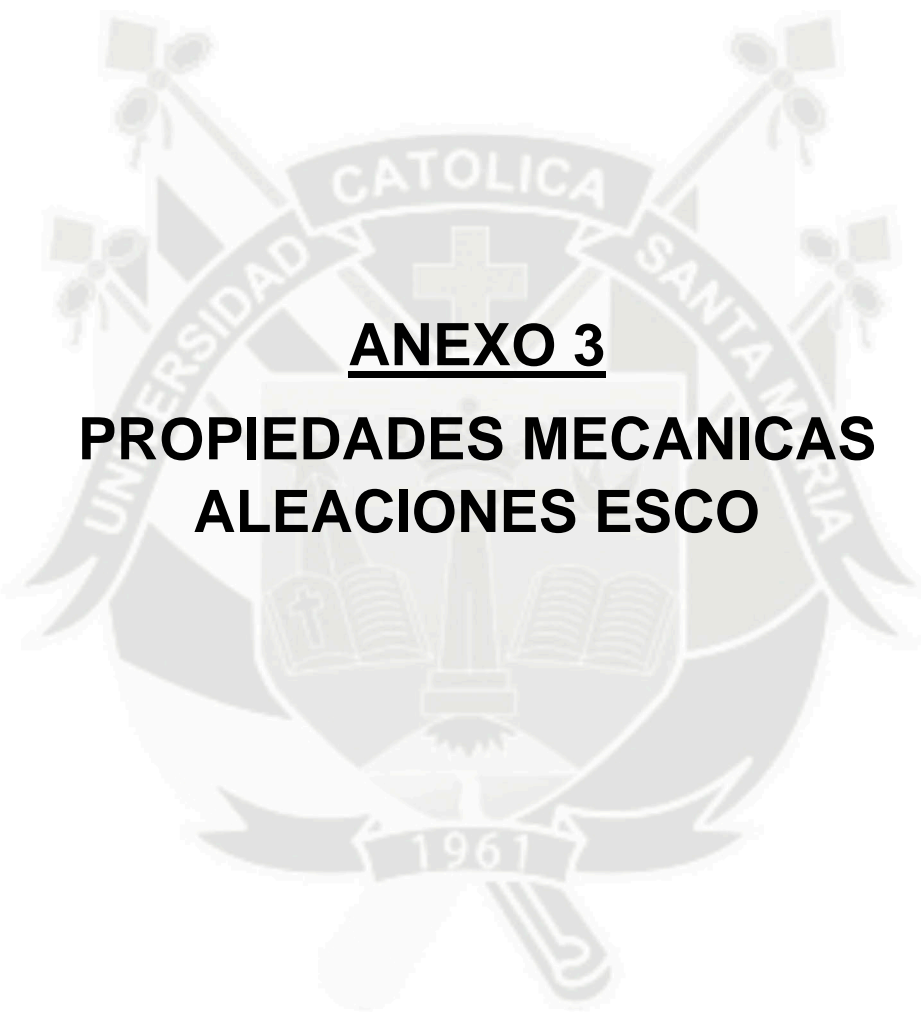
Date: 12,12,2005



REGISTRO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA

1.- Inspección Visual de soldadura.-

N° cordón	Junta	Tipo de – Junta	Cateto (mm)		Discontinuidad		Aceptado		Observaciones
			Nominal	Real	Tipo	Dimensión	SI	NO	
									-
1	-	Relleno	-	-	Porosidad	1 mm	X		-
2	-	Relleno	-	-	N/A	N/A	X		-
3	-	Relleno	-	-	N/A	N/A	X		-
4	-	Relleno	-	-	N/A	N/A	X		-
5	-	Relleno	-	-	N/A	N/A	X		-
6	-	Relleno	-	-	Porosidad	1 mm	X		-
7	-	Relleno	-	-	N/A	N/A	X		-
8	-	Relleno	-	-	N/A	N/A	X		-



ANEXO 3
PROPIEDADES MECANICAS
ALEACIONES ESCO

Tough ESCO Alloy Steel

**Consistently
Surpasses
Industry
Standards!**



Alloy Type	Alloy	Ult. Tensile Strength KSI (MPa)	Yield Strength KSI (MPa)	Brinell Hardness as Manufactured	Brinell Hardness After Work Hardening	Charpy Impact Toughness @ -40°F Ft-lbs (J)	Maximum Operating Temperature	Weldability
Low Alloy Steels	12C	200 (1378)	165 (1137)	415	N/A	17 (23)	400°F	Moderate
	12F Lo-Hard	130 (896)	115 (792)	277	N/A	50 (68)	600°F	Good
	12F Hi-Hard	200 (1378)	160 (1102)	415	N/A	17 (23)	400°F	Moderate
	12H	215 (1481)	175 (1206)	444	N/A	20 (27)	400°F	Difficult
	12K	280 (1929)	230 (585)	534	N/A	12 (17)	400°F	Very Diff.
	12M Lo-Hard	138 (951)	125 (861)	311	N/A	40 (54)	1000°F	Good-Mod.
	12M Hi-Hard	230 (1585)	180 (1240)	477	N/A	12 (17)	400°F	Mod.-Diff.
	12S	240 (1654)	195 (1343)	495	N/A	15 (20)	400°F	Very Diff.
Austenitic Manganese Steels	12T	115 (792)	105 (723)	262	N/A	60 (81)	600°F	Good
	14	120 (827)	54 (372)	190	Up to 550	120 (163)	400°F	Good-Mod.
	14L	122 (841)	51 (351)	180	Up to 550	125 (170)	400°F	Good-Mod.
Heat Resistant Alloy	14ZA	123 (847)	57 (393)	200	Up to 550	120 (163)	400°F	Good-Mod.
		49K	52 @ 1400°F (358 @ 760°C)	32 @ 1400°F (220 @ 760°C)	N/A	N/A	N/A	1700°F	Fair
		31 @ 1600°F (214 @ 871°C)	24 @ 1600°F (165 @ 871°C)	N/A	N/A	N/A	1700°F	Fair

Note: The indicated properties are typical values when testing from standard ASTM-type keel bar specimens. Testing specimens machined directly from the casting may give slight differences. Specimen preparation has a significant influence on properties, particularly in the high strength alloys and the austenitic manganese steels.



Tough ESCO Alloy Steel

Consistently Surpasses Industry Standards!

ESCO Alloys Endure the World's Toughest Applications

We've designed specialized alloys tailored specifically for their intended use. Among them are steels designed to withstand the high impact loads found in earthmoving, mining, dredging, forestry, and mineral processing. ESCO metallurgists have pioneered stainless and heat-resisting alloys to meet corrosion and temperature extremes. ESCO also offers tough manganese alloys, from which high impact crushing parts obtain their strength and wear resistance.

Alloy Overview

Low to Medium Carbon Low Alloy Steels

ESCO series 12 alloys provide a balance between structural strength, impact toughness, and wear resistance properties. ESCO offers over 14 variations, each designed for specific needs.

Austenitic Manganese Alloys

ESCO series 14 alloys are designed to take advantage of the unique work hardening properties of this class of steel. Parts made with Manganese work better than any other alloy, where the right combination of structural loads and high impacts allow the surface of the part to work harden. The surface hardness increases dramatically – beyond what can be attained with low to medium carbon steels. You'll find these steels in ESCO crushing and wearpart products.

Heat-Resisting Alloys

ESCO series 49 alloys are a high alloy chemistry that is excellent for high temperature applications. These alloys provide superior high temperature strength with good ductility and oxidation resistance in abrasive applications. The additional alloy elements make these chemistries more costly, but in hostile environments they provide value and life that no other material can match. You'll find them used for ESCO conveying and rigging equipment.

The Best Steel for the Job!

ESCO offers a wide array of cast alloys for use in tough mining, construction, forestry, and industrial processing applications. Parts are backed by our metallurgical laboratory, unmatched for alloy and part analysis. We use actual field load and stress data to ensure your parts can endure wear, abrasion, and fatigue.

Superior alloys, the industries' leading test expertise, and ISO 9001 certification enables ESCO to bring you the strongest, long wearing, abrasion resistant products made... problem solved!

***Note:** The properties represented here are the average values of tests performed on a standard cast test bar representing many heats. Due to necessary variations in composition and casting shape and section size, tests performed on castings may vary from these values. The values cannot be used for minimums for purchasing specifications. Test bar minimums can be supplied on request.*

North American Sales

2141 N.W. 25th Avenue • Portland, Oregon 97210-2578
Phone 503-228-2141 • FAX 503-778-6682

International Sales

2141 N.W. 25th Avenue • Portland, Oregon 97210-2578
Phone 503-228-2141 • FAX 503-778-6360

Visit the ESCO Products web site
www.esco-engproducts.com

1-800-446-3726 USA

Contact your ESCO dealer today!




Engineered Products

Product Query

ITEM NUMBER	ITEM STATUS CODE	ITEM DESCRIPTION	BUSINESS UNIT	PMID	SURFACE COATING	ITEM SUPP	MARKING ALLOY	SPECIFIED MATERIAL	HARDNESS	UNIT WEIGHT	WEIGHT UNIT OF MEASURE
4169758	CUST CURR	70SV2PN-C;SV2 PIN ASSY;ESCO GRN	SURFACE MINING	70SV2PN-C	ESCO GRN	LWH: 4.76X1.71X1.74	12S	12SL	478 HB	1.39	LBS

QUIMICAL COMPOSITION								
%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%S	%P	%Al
0.29	0.76	1.29	1.83	0.29	0.26	0.018	0.02	0.03



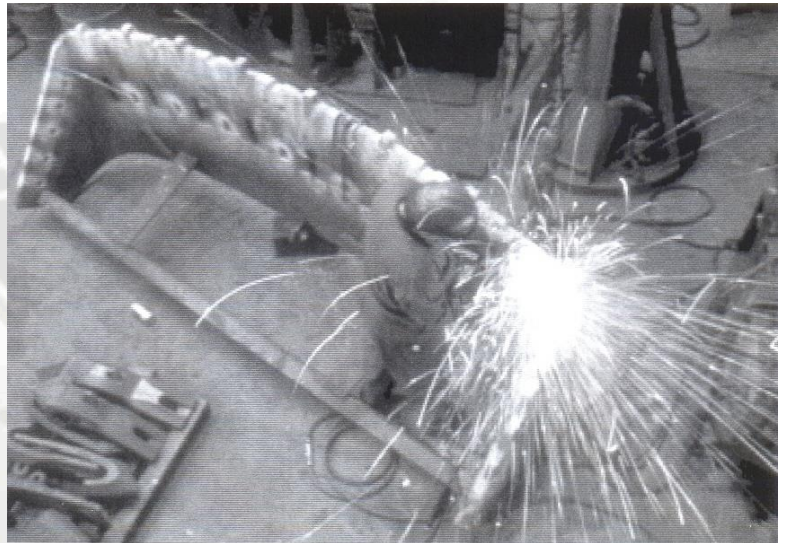
ANEXO 4
**SOLDADURA DE ACEROS DE
DESGASTE**

SOLDADURA DE ACEROS DE DESGASTE: RECOMENDACIONES ESCO

Los aceros de las aleaciones serie 12 fabricados por Esco son básicamente aceros Cromo-Molibdeno y aceros Cromo-Niquel-Molibdeno desarrollados para aplicaciones que requieren altas durezas y elevada resistencia para minería, construcción, manejo de troncos, transporte y dragas. Ellas fueron desarrolladas para aplicaciones tenaces en un rango de dureza de 229 hasta 550 Brinell. La mayoría de puntas de dientes, adaptadores, escarificadores, cuchillas y esquineros son fabricados en las aleaciones de las series 12 de Esco. Algunas de esas aleaciones son soldables y otras no. Vea la tabla anexa más adelante.

Las aleaciones Esco de las series 14 son fundidos de aceros al manganeso que

se endurecen cuando sometidos a impactos y entonces mantienen la superficie dura y resistente al desgaste. Nuestras aleaciones de las series 14 son utilizadas en especiales aplicaciones para cucharones como también en puntas, labios y frontales de cucharones shovel.



Siguiendo las instrucciones de soldadura adelante indicadas el usuario no tendrá dificultades en la soldadura de los productos ESCO. Alguna duda existente que no esté cubierta en esas descripciones contacte inmediatamente el Distribuidor ESCO más cercano o llame directamente a Esco.



ATENCIÓN: Las garantías de ESCO cesan cuando puntas o adaptadores son reparados o reciben revestimiento duro.

Todo el personal de mantenimiento debe tener protección con material de seguridad adecuado e aprobado por las Normas Técnicas tales como casco de seguridad, gafas de seguridad, botas con protección de acero, guantes y audífonos de seguridad. Para evitar daños a terceros, todos que no estén involucrados directamente en el trabajo deben permanecer lejos del sitio de reparación.

Normas para aceptación de la soldadura

Las siguientes disposiciones se aplican a cualquier cordón de soldadura, incluyendo la raíz y el final. "Una capa" en su generalidad es un plano cordón de soldadura, pero esa definición debe ser entendida cuando resulta en una deposición con alguna concavidad.

Discontinuidad lineal: No son aceptadas grietas incluyendo grietas de cráter en soldaduras o zonas afectadas por el calentamiento. Ninguna discontinuidad lineal en esas áreas puede ultrapasarse a 6.0 mm / 0.025" en su largo.

Porosidad: La porosidad no debe exceder a 4 huecos globulares en cada 100 mm / 4.0" del largo de un cordón de soldadura. Ningún hueco debe exceder a 1.5mm / 0.06" en su diámetro.

Inclusión de escoria: No se admite ninguna inclusión de escoria en inspección visual para cualquier cordón de soldadura.

Socavamiento: El socavamiento no debe exceder a 1.5mm / 0.06" para material con espesor superior a 13mm/0.50".

Translapo: No puede exceder a 1.5mm / 0.06" arriba de la línea de fusión de la soldadura.

Salpicadura: Ninguna salpicadura debe exceder 0.8mm / 0.03" en el diámetro. La densidad de dispersión en cordones de razonable tamaño no debe exceder a 25 unidades en 36 pulgadas cuadradas / 230 centímetros cuadrados.

Esmerilado: Las indicaciones de esmerilado deben ser establecidas en el específico dibujo. También esa indicación debe ser especificada cuando o esmerilado es solamente en una dirección.

Revestimiento con electrodo duro: La deposición de electrodo duro puede ser un método efectivo para la prolongación de la vida de algunos productos Esco. Entretanto, un inadecuado proyecto, la instalación y/o la utilización del electrodo duro pueden traer falla prematura de alguno producto ESCO muy cerca de esa aplicación.

Es importante que sean seguidas todas las recomendaciones del fabricante del electrodo duro en su aplicación. Entretanto, pueden suceder situaciones en que haya conflicto con los procedimientos recomendados por Esco. Entonces en ese evento hay que dar prioridad a las indicaciones de ESCO.

Soldabilidad y Aplicaciones de las aleaciones Esco serie 12

Aleación	Soldabilidad	Aplicaciones en productos
12E (baja dureza)	Buena	Labios de cucharones y componentes estructurales
12E (alta dureza)	Baja	Adaptadores apernados y adaptadores de cabo
12F (baja dureza)	Buena	Labios de cucharones y componentes estructurales
12F (alta dureza)	Baja	Adaptadores apernados y adaptadores de cabo
12C	Buena	Adaptadores soldables de palas cargadoras
12H	No recomendada	Puntas grandes y adaptadores
12K	No recomendada	Puntas y partes de desgaste
12M (baja dureza)	Buena	Partes estructurales de pequeños cucharones
12M (alta dureza)	No recomendada	Adaptadores apernados y partes de desgaste
12S	No recomendada	Puntas y partes de desgaste
12T	Muy buena	Partes estructurales para grandes cucharones

Algunas de esas aleaciones de series 12 no son fabricadas para ser soldadas como muestra la tabla arriba. Su soldadura puede destruir el tratamiento térmico dado a esas partes, lo que puede acarrear inferior desempeño o fallas. Como regla general puntas Esco no deben ser soldadas, reparadas o depositado revestimiento duro. Ellas ya son fabricadas lo más duro posible.

Las aleaciones ESCO 12E, 12C, 12M e 12T tienen excelente soldabilidad. Ellas son utilizadas para adaptadores soldables, como también para partes estructurales como labios de cucharones draglinea, laterales

y arcos; vigas de cucharones shovel, labios y frontales; y brazos de dragas cortadoras, anillos y cubos. Partes estructurales de esas aleaciones pueden recibir revestimiento duro, pero eso generalmente no es necesario porque hay protectores de desgaste que ESCO fabrica para las áreas de alto desgaste.

El tipo de aleación está debidamente marcado en todas las partes fundidas Esco: 12S, 12K, etc. En casos que las marcas se apagaran debido al desgaste, las aleaciones series 12 pueden ser identificadas por su magnetismo; los aceros manganeso series 14 no son magnéticos.

Recomendaciones para soldadura de aleaciones series 12

Siga los siguientes procedimientos para mejores resultados cuando se ejecuta la soldadura de aleaciones series 12 conjuntas o con otros fundidos de baja aleación, fundidos de aceros al carbono, forjados o planchas.

Utilice material de llenamiento indicado en la página 4 y siga las siguientes instrucciones:

- Controle la humedad de los electrodos de bajo hidrógeno comprando paquetes sellados de 10 libras / 4,5 kg. Paquetes más grandes ocasionan contaminación por humedad resultando en soldaduras de más baja calidad.
- Mantenga los electrodos en una estufa ventilada a una temperatura de 150°F / 65°C y remueva solamente la cantidad de electrodos para el trabajo de una hora de soldadura.
- Los electrodos resultantes de paquetes previamente abiertos deben ser guardados en una estufa ventilada a una temperatura de 500°F / 260°C por lo menos durante dos horas antes de ser utilizados.
- Electrodos retirados de cajas de cartón o de recipientes no herméticos deben ser precalentados durante dos horas en estufa ventilada a una temperatura de 500°F / 260°C y en seguida transferidos a otra estufa ventilada a una temperatura de 150°F / 65°C en cuanto aún están calientes; de esa estufa entonces remueva la cantidad de electrodos para el trabajo de una hora de soldadura.
- El electrodo que fue expuesto al aire por más de una hora debe ser retornado a la estufa y ser recalentado según las instrucciones arriba descritas.
- Temperaturas de precalentamiento y de entre pases están descritas en la página 5.
- Durante la soldadura, haga cordones cortos y remueva la escoria a cada pase.
- Bisele las juntas para tener 100% de penetración, cuando es posible.
- Toda soldadura debe de preferencia ser ejecutada en el plano o posición horizontal.
- Martille cada cordón de soldadura para reducir las tensiones.

Deposición de electrodo duro en las aleaciones Esco serie 12 - Método de Puntos

- Si es necesaria la deposición de electrodo duro, el método más recomendado es la deposición por puntos sobrepasando a todos los otros métodos, pues es el procedimiento que menos altera el metal base. Consiste en puntos de 3/8 a 1/2 pulgada / 10-12 mm de diámetro soldados en hileras y espaciados entre si de 1 a 1,5 pulgada / 25-37 mm.
- La soldadura es más rápida, utiliza menos material y su costo es más bajo que cordones continuos o revestimientos sólidos. También reduce las grietas y fallas de soldadura lo que es muy común en otros métodos.
- Los puntos sirven como buenos indicadores del desgaste. Ellos deben ser nuevamente soldados antes de estar completamente desgastados.
- Use el electrodo Stoodly 31 o equivalente para revestimiento duro.
- Áreas desgastadas deben antes ser reconstruidas con electrodo adecuado antes de la deposición del electrodo duro. En situación de partes donde el desgaste fue muy excesivo, suelde antes una plancha de acero

para reconstruir el contorno original y después utilice la deposición de material duro conforme ya fue descrito anteriormente.

Instrucciones de soldadura de los aceros manganeso austeníticos (o acero manganeso Hadfield)

- Verifique con un imán si la pieza no es magnética pues el acero manganeso no es magnético.
- Utilice electrodo especificado en la tabla de la página 5.
- Bisele las juntas con soplete, esmeril o arc air (carbón) para tener 100% de penetración de soldadura.
- Evite excesivo calentamiento en el corte.
- Elimine con esmeril o soplete las superficies endurecidas por lo menos 1/32" / 1 mm de profundidad antes de la soldadura.
- Verifique con un punzón si la superficie endurecida fue totalmente removida.
- Elimine todas las grietas antes de la soldadura.
- Realice soldadura intercalada y cordones no más que 5" / 125 mm de largo.
- Evite cordones gruesos para distribuir el calor uniformemente.
- Use arco corto y baja corriente para producir "arco frío"; así se puede poner la mano sin guante a 6" / 150mm lejos de la soldadura sin que se queme.
- Martille inmediatamente el cordón de soldadura para reducir las tensiones de contracción.
- Reconstruya las áreas desgastadas a su contorno primitivo con electrodos austeníticos níquel-manganeso para se aproximar lo más posible al metal base y de ese modo permitir el endurecimiento durante el trabajo.

Observaciones:

Todas las especificaciones y normas acá mencionadas siguen la AWS, American Welding Society - Sociedad Americana de Soldadura.

Los procesos acá designados son:

- SMAW: Shielded Metal Arc Welding - Arco metálico con electrodo revestido.
- GMAW: Gas-Metal Arc Welding - Proceso MIG - Arco metálico con gas.
- FCAW: Flux Cored Arc Welding - Soldadura por arco tubular.

Aleaciones serie 12 y planchas de acero

SMAW		FCAW		GMAW	
E7016	p/ AWS A5.1	E70T-5	p/ AWS A5.20	ER70S-6	p/ AWS A5.18
E7018	p/ AWS A5.1	E71T-1		ER80S-Ni2	
E7018-C1	p/ AWS A5.1	E71T-1H4			
E8018-C1	p/ AWS A5.1	E80T5-Ni2			
		E71T1-Ni2			
		E70T-5	* Vea Nota.		

Nota: El alambre debe tener el certificado del fabricante para depositar metal soldado con menos de 5 ml / 100g de hidrógeno difuso.

Aleaciones de serie 14 y planchas de acero

SMAW		FCAW		GMAW	
E308-16	p/ AWS A5.4	ER308	p/ AWS A5.9	ER309	p/ AWS A5.9
E309-16	p/ AWS A5.4	Stoody Nicro-Mang		ER309L	
E310-16	p/ AWS A5.4	McKay Vertiwear			
Stoody Nicro-Mang					
Stoody Trackwear					

Nota: Para soldadura de partes de acero manganeso con idénticas partes de acero manganeso utilizar el electrodo AWS-E-FeMnA1.

Temperatura de precalentamiento y de entre pases

Aleación	Precalentamiento mínimo requerido	Entre pases máximo permitido	Póscalentamiento: tratamiento requerido
Todas las aleaciones de serie 12	250°F / 120°C	500°F / 260°C Temperatura ambiente igual o menor a 40°F / 5°C precalentar entre las temperaturas: 350-400°F / 175-205°C. Atención: controlar la temperatura.	Temperatura ambiente más que 40°F / 5°C no se necesita póscalentamiento. Para las otras temperaturas póscalentar uniformemente de 4 a 24 horas entre las temperaturas: 350-400°F / 175-205°C, y después enfriar al aire frío.
Todas las aleaciones de serie 14	No precalentar	250°F / 120°C	No póscalentar

Nota: Cuando la fabricación requiere la combinación de uno o más fundidos con una plancha, las temperaturas de precalentamiento e entre pases tienen la predominancia de los fundidos independiente del tipo o espesor de la plancha.

Aleación	Precalentamiento mínimo requerido	Entre pases máximo permitido
ASTM514 (T1) y Plancha AR	Sección hasta 1" - 70°F / 20°C Sección de 1" a 2" - 150°F / 65°C Sección más que 2" - 250°F / 120°C	500°F / 260°C 500°F / 260°C 500°F / 260°C
Plancha de acero de mediano contenido de carbono Ex.: ASTM A36 (C=0.25 a 0.30) ASTM A572 (C=0.20 a 0.26 con Nb ou V)	Sección hasta 2" - 70°F / 20°C Sección más que 2" - 200°F / 95°C	500°F / 260°C 500°F / 260°C



ANEXO 5
NORMA E18-03 ENSAYO DE DUREZA



Designation: E 18 – 03^{ε1}

An American National Standard

Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials^{1,2}

This standard is issued under the fixed designation E 18; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

^{ε1} NOTE—Table 15 was editorially revised in June 2004.

1. Scope*

1.1 These test methods cover the determination of the Rockwell hardness and the Rockwell superficial hardness of metallic materials, including test methods for the verification of machines for Rockwell hardness testing (Part B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Part C).

1.2 Values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. SI units are provided for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* (See Note 6.)

NOTE 1—The National Institute of Standards and Technology (NIST) maintains the national Rockwell hardness standards for the United States. In June 1998, NIST released new Rockwell C scale (HRC) test blocks as Standard Reference Materials (SRMs). The blocks were calibrated using NIST's primary reference standardizing machine. The major benefit of the NIST standards is that their HRC levels are in line with the other industrialized countries around the world. The NIST HRC levels establish the hardness of materials slightly harder than the historical standards used in the United States for the past 75 years. The revision of E 18 requires that all performance verifications of Rockwell hardness indenters and hardness machines must be made using test blocks calibrated traceable to the Rockwell standards maintained by NIST. This can be accomplished through the use of commercial test blocks calibrated traceable to the NIST standards or by directly using the NIST SRMs. This requirement will apply only to the Rockwell scale(s) for which NIST supplies primary reference test blocks

NOTE 2—In previous editions of this standard, ball indenters were required to be of hard steel. Beginning with this edition, tungsten-carbide balls are also allowed. This change is a first step in a planned future transition to eliminate steel balls and allow only the use of tungsten carbide balls. The elimination of steel ball indenters is scheduled to occur

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved June 10, 2003. Published August 2003. Originally approved in 1932. Last previous edition approved in 2002 as E 18 – 02.

² In this test method, the term Rockwell refers to an internationally recognized type of indentation hardness test as defined in Section 3, and not to the hardness testing equipment of a particular manufacturer.

in about two years. The use of tungsten carbide balls will provide an improvement to the Rockwell hardness test because of the tendency of steel balls to flatten with use, which results in an erroneously elevated hardness value. In addition, NIST is planning to standardize the HRB scale using tungsten-carbide balls. As a result of this change, this edition also requires that when a ball indenter is used, the Rockwell hardness value must be reported with the scale designation followed by the letter "S" to indicate the use of a steel ball or the letter "W" to indicate the use of a tungsten carbide ball. The user is cautioned that Rockwell hardness tests comparing the use of steel and tungsten carbide balls have been shown to give different results. For example, depending on the material tested and its hardness level, Rockwell B scale tests using a tungsten carbide ball indenter have given results up to one Rockwell point lower than when a steel ball indenter is used.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products³
- B 19 Specification for Cartridge Brass Sheet, Strip, Plate, Bar, and Disks (Blanks)⁴
- B 36/B36 M Specification for Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 96 Specification for Copper-Silicon Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar for General Purposes and Pressure Vessels⁴
- B 97 Specification for Copper-Silicon Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar for General Purposes⁵
- B 103/B 103 M Specification for Phosphor Bronze Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 121/B 121 M Specification for Leaded Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 122/B 122 M Specification for Copper-Nickel-Tin Alloy, Copper-Nickel-Zinc Alloy (Nickel Silver), and Copper-Nickel Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 130 Specification for Commercial Bronze Strip for Bullet Jackets⁴
- B 134 Specification for Brass Wire⁴

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.03.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 02.01.

⁵ Discontinued, see *1981 Annual Book of ASTM Standards*, Part 6.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

ASTM E 18 – 03^{ε1}

- B 152 Specification for Copper Sheet, Strip, Plate, and Rolled Bar⁴
- B 291 Specification for Copper-Zinc-Manganese Alloy (Manganese Brass) Sheet and Strip⁴
- B 370 Specification for Copper Sheet and Strip for Building Construction⁴
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁶
- E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications⁷
- E 140 Hardness Conversion Tables for Metals⁶

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *calibration*—determination of the values of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

3.1.2 *Rockwell hardness number, HR*—a number derived from the net increase in the depth of indentation as the force on an indenter is increased from a specified preliminary test force to a specified total test force and then returned to the preliminary test force.

3.1.2.1 *Discussion—Indenters*—Indenters for the Rockwell hardness test include a diamond spheroconical indenter and ball indenters (steel or tungsten carbide) of several specified diameters.

3.1.2.2 *Discussion*—Rockwell hardness numbers are always quoted with a scale symbol representing the indenter and forces used. The hardness number is followed by the symbol HR and the scale designation. When a ball indenter is used, the scale designation is followed by the letter “S” to indicate the use of a steel ball or the letter “W” to indicate the use of a tungsten carbide ball.

3.1.2.3 *Examples*—64 HRC = Rockwell hardness number of 64 on Rockwell C scale. 81 HR30N = Rockwell superficial hardness number of 81 on Rockwell 30N scale. 72 HRBW = Rockwell hardness number of 72 on the Rockwell B scale measured using a tungsten carbide ball indenter.

3.1.3 *Rockwell hardness test*—an indentation hardness test using a verified machine to force a diamond spheroconical indenter (diamond indenter), or a ball indenter (steel or tungsten carbide) under specified conditions, into the surface of the material under test in two operations, and to measure the difference in depth of the indentation under the specified conditions of preliminary and total test forces (minor and major loads, respectively).

3.1.4 *Rockwell superficial hardness test*—same as the Rockwell hardness test except that smaller preliminary and total test forces are used.

3.1.5 *verification*—checking or testing to assure conformance with the specification.

4. Significance and Use

4.1 The Rockwell hardness test is an empirical indentation hardness test. Rockwell hardness tests provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear resistance, ductility, and other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials.

4.2 Rockwell hardness testing at a specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product.

4.3 Rockwell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and have been used extensively in industry for this purpose.

4.4 Performance verifications of Rockwell hardness indenters and hardness machines shall be made using test blocks calibrated traceable to the Rockwell standards maintained by NIST when primary reference test blocks are available from NIST for the specific Rockwell scale.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁷ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

A. GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR ROCKWELL HARDNESS AND ROCKWELL SUPERFICIAL HARDNESS TESTS

5. Principles of Test and Apparatus

5.1 *General Principles*—The general principles of the Rockwell hardness test are illustrated in Fig. 1 (diamond indenter) and Fig. 2 (ball indenters) and the accompanying Table 1 and Table 2. In the case of the Rockwell superficial test the general principles are illustrated in Fig. 3 (diamond indenter) and Fig. 4 (ball indenter) and the accompanying Table 3 and Table 4.

5.1.1 See *Equipment Manufacturer’s Instruction Manual* for a description of the machine’s characteristics, limitations, and respective operating procedures. Typical applications of the various hardness scales are shown in Tables 5 and 6. Rockwell hardness values are usually determined and reported in accordance with one of these standard scales. An indenter is forced into the surface of a test piece in two steps under

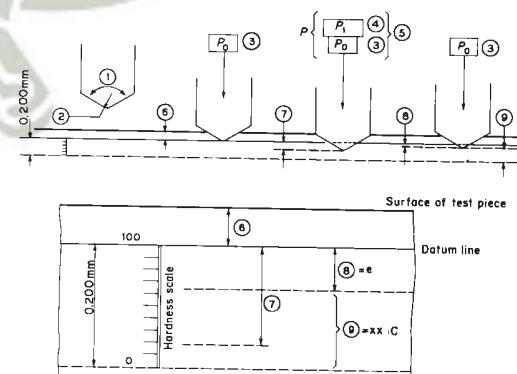


FIG. 1 Rockwell Hardness Test with Diamond Indenter (Rockwell C Example) (Table 1)

ASTM E 18 – 03^{ε1}

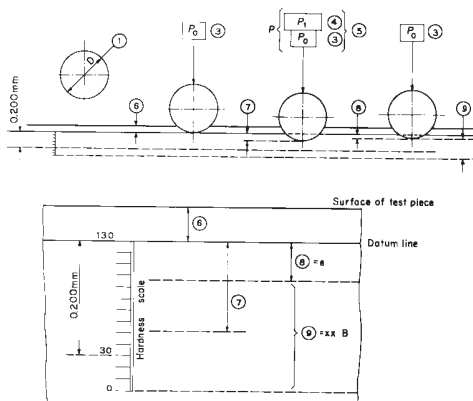


FIG. 2 Rockwell Hardness Test with Ball Indenter (Rockwell B Example) (Table 2)

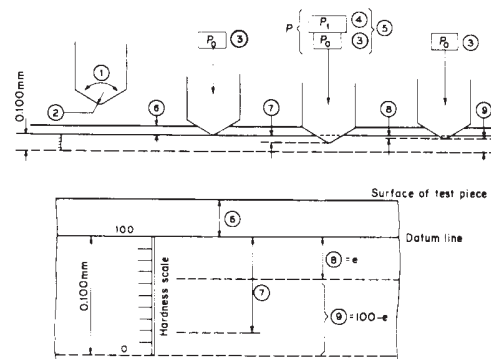


FIG. 3 Rockwell Superficial Hardness Test with Diamond Indenter (Rockwell 30N Example) (Table 3)

TABLE 1 Symbols and Designations Associated with Fig. 3

Number	Symbol	Designation
1	...	Angle at the top of the diamond indenter (120°)
2	...	Radius of curvature at the tip of the cone (0.200 mm)
3	P_0	Preliminary Test Force = 10 kgf (98 N)
4	P_1	Additional Force = 140 kgf (1373 N)
5	P	Total Test Force = $P_0 + P_1 = 10 + 140 = 150$ kgf (1471 N)
6	...	Depth of penetration under preliminary test force before application of additional force
7	...	Increase in depth of penetration under additional force
8	e	Permanent increase in depth of penetration under preliminary test force after removal of additional force, the increase being expressed in units of 0.002 mm
9	xx HRC	Rockwell C hardness = $100 - e$

TABLE 2 Symbols and Designations Associated with Fig. 2

Number	Symbol	Designation
1	D	Diameter of ball = $\frac{1}{16}$ in. (1.588 mm)
3	P_0	Preliminary Test Force = 10 kgf (98 N)
4	P_1	Additional force = 90 kgf (883 N)
5	P	Total Test Force = $P_0 + P_1 = 10 + 90 = 100$ kgf (981 N)
6	...	Depth of penetration under preliminary test force before application of additional force
7	...	Increase in depth of penetration under additional force
8	e	Permanent increase in depth of penetration under preliminary test force after removal of the additional force, the increase being expressed in units of 0.002 mm
9	xx HRB	Rockwell B hardness = $130 - e$

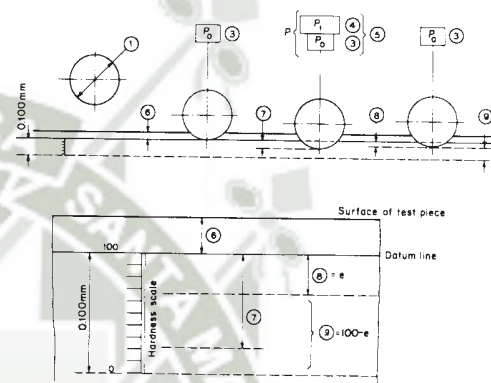


FIG. 4 Rockwell Superficial Hardness Test with Ball Indenter (Rockwell 30T Example) (Table 4)

TABLE 3 Symbols and Designations Associated with Fig. 3

Number	Symbol	Designation
1	...	Angle at the tip of the diamond indenter (120°)
2	...	Radius of curvature at the tip of the cone (0.200 mm)
3	P_0	Preliminary Test Force = 3 kgf (29 N)
4	P_1	Additional force = 27 kgf (265 N)
5	P	Total Test Force = $P_0 + P_1 = 3 + 27 = 30$ kgf (294 N)
6	...	Depth of penetration under preliminary test force before application of additional force
7	...	Increase in depth of penetration under additional force
8	e	Permanent increase in depth of penetration under preliminary test force after removal of additional force, the increase being expressed in units of 0.001 mm
9	xx HR30N	Rockwell 30N hardness = $100 - e$

specified conditions (see Section 7) and the difference in depth of indentation is measured as e .

5.1.2 The unit measurement for e is 0.002 mm and 0.001 mm for the Rockwell hardness test and Rockwell superficial hardness test, respectively. From the value of e , a number known as the Rockwell hardness is derived. There is no Rockwell hardness value designated by a number alone because it is necessary to indicate which indenter and force have been employed in making the test (see Table 5 and Table 6).

5.2 Description of Machine and Method of Test—The tester for making Rockwell hardness determinations is a machine that

measures hardness by determining the difference in penetration depths of an indenter under two specified forces, called preliminary and total test forces.

5.2.1 There are two general classifications of the Rockwell test: the Rockwell hardness test and the Rockwell superficial hardness test.

5.2.2 In the Rockwell hardness test the preliminary test force is 10 kgf (98 N). Total test forces are 60 kgf (589 N), 100 kgf (981 N) and 150 kgf (1471 N). In the Rockwell superficial hardness test the preliminary test force is 3 kgf (29 N) and total test forces are 15 kgf (147 N), 30 kgf (294 N), and 45 kgf (441 N). The indenter for either test shall be of a spheroconical or

ASTM E 18 – 03^{ε1}

TABLE 4 Symbols and Designations Associated with Fig. 4

Number	Symbol	Designation
1	D	Diameter of ball = $\frac{1}{16}$ in. (1.588 mm)
3	P_0	Preliminary Test Force = 3 kgf (29 N)
4	P_1	Additional force = 27 kgf (265 N)
5	P	Total Test Force = $P_0 + P_1 = 3 + 27 = 30$ kgf (294 N)
6	...	Depth of penetration under preliminary test force before application of additional force
7	...	Increase in depth of penetration under additional force
8	e	Permanent increase in depth of penetration under preliminary test force after removal of the additional force, the increase being expressed in units of 0.001 mm
9	XXHR30T	Rockwell 30T hardness = 100-e

spherical configuration. Scales vary by a combination of total test force and type of indenter.

5.2.3 The difference in depth is normally measured by an electronic device or by a dial indicator. The hardness value, as read from the instrument, is an arbitrary number which is related to the difference in the depths produced by the two forces; and since the scales are reversed, the higher the number the harder the material.

5.2.4 In accordance with the operating procedures recommended by the manufacturer of the hardness tester, the test is started by applying the preliminary test force causing an initial penetration of the specimen. Since measurement of the difference in depth starts after the preliminary force has been applied, the dial gage pointer is set to zero if the instrument is a dial indicator model. On a digital readout instrument, the zero point is captured by the electronics automatically. The instrument shall be designed to eliminate the effect of impact in applying the preliminary test force.

5.2.5 The additional force is applied for the required dwell time and then removed. The return to the preliminary test force position holds the indenter at the point of deepest penetration yet allows elastic recovery to occur and the stretch of the frame to be factored out. The test result is displayed by the testing machine.

5.3 *Indenters:*

5.3.1 The standard indenters are the diamond spheroconical indenter and steel ball indenters having steel or tungsten carbide balls $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, and $\frac{1}{2}$ in. (1.588, 3.175, 6.350, and 12.70 mm) in diameter.

5.3.2 The diamond indenter shall conform to the requirements prescribed in 13.1.2.1.

5.3.3 Indenter balls can be either tungsten carbide or hardened steel; however, tungsten carbide balls are recommended to reduce errors associated with the tendency of steel balls to flatten with use. Indenter balls shall conform to the requirements prescribed in 13.1.2.2.

5.3.4 Dust, dirt, grease, and scale shall not be allowed to accumulate on the indenter as this will affect the test results.

5.4 *Anvils*—An anvil shall be used that is suitable for the specimen to be tested. The seating and supporting surfaces of all anvils shall be clean and smooth and shall be free from pits, deep scratches, and foreign material. If the provisions of 6.3 on thickness of the test piece are complied with, there will be no danger of indenting the anvil, but, if it is so thin that the

impression shows through on the under side, the anvil may be damaged. Damage may also occur from accidental contacting of the anvil by the indenter. If the anvil is damaged from any cause, it shall be replaced. Anvils showing the least visible dent will give inaccurate results on thin material.

5.4.1 Cylindrical pieces shall be tested with a V-grooved anvil that will support the specimen with the axis of the V-groove directly under the indenter or on hard, parallel, twin cylinders properly positioned and clamped in their base.

5.4.2 Flat pieces shall be tested on a flat anvil that has a smooth, flat bearing surface whose plane is perpendicular to the axis of the indenter.

5.4.3 For thin materials or specimens that are not perfectly flat, an anvil having an elevated, flat spot about $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) in diameter shall be used. This spot shall be polished smooth and flat and shall have a Rockwell hardness of at least 60 HRC. Very soft material should not be tested on the spot anvil because the applied force may cause the penetration of the anvil into the under side of the specimen regardless of its thickness.

5.4.4 When testing thin sheet material with a ball indenter, it is recommended that a diamond spot anvil be used.

NOTE 3—**Caution:** A diamond spot anvil should only be used with a superficial hardness tester and ball indenter. This recommendation should be followed, except when directed otherwise by material specification.

5.5 *Test Blocks*—Test blocks meeting the requirements of Part C shall be used to periodically verify the hardness tester.

6. *Test Piece*

6.1 The test shall be carried out on a smooth, even surface that is free from oxide scale, foreign matter, and, in particular, completely free from lubricants. An exception is made for reactive metals, such as titanium, that may adhere to the indenter. In such situations, a suitable lubricant such as kerosene may be used. The use of a lubricant shall be reported on the test report.

6.2 Preparation shall be carried out in such a way that any alteration of the surface hardness (for example, due to heat or cold-working) is minimized.

6.3 The thickness of the test piece or of the layer under test should be as dictated in Tables 7-9, and Table 10 and as presented graphically in Figs. 5 and 6. These tables were determined from studies on strips of carbon steel and give reliable results. For all other materials it is recommended that the thickness exceed 10 times the depth of indentation with a diamond indenter and 15 times the depth of indentation with a ball indenter. As a rule, no deformation should be visible on the back of the test piece after the test although not all such marking is indicative of a bad test.

6.4 For tests on convex cylindrical surfaces the corrections given in Tables 11-14 shall be applied. Corrections for tests on spherical and concave surfaces should be the subject of special agreement. When testing cylindrical specimens, the accuracy of the test will be seriously affected by alignment of elevating screw, V-anvil, indenters, surface finish, and the straightness of the cylinder. For diameters between those given in the tables, correction factors may be derived by linear interpolation. Tests

ASTM E 18 – 03^{ε1}

TABLE 5 Rockwell Hardness Scales

Scale Symbol	Indenter	Total Test Force, kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/16-in. (1.588-mm) ball	100	red	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc.
C	diamond	150	black	
A	diamond	60	black	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel.
D	diamond	100	black	Thin steel and medium case hardened steel, and pearlitic malleable iron.
E	1/8-in. (3.175-mm) ball	100	red	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals.
F	1/16-in. (1.588-mm) ball	60	red	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals.
G	1/16-in. (1.588-mm) ball	150	red	Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G92 to avoid possible flattening of ball.
H	1/8-in. (3.175-mm) ball	60	red	Aluminum, zinc, lead. Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	red	
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	red	
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	red	
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	red	
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	red	
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	red	

TABLE 6 Rockwell Superficial Hardness Scales

Total Test Force, kgf (N)	Scale Symbols				
	N Scale, Diamond Indenter	T Scale, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	W Scale, 1/8-in. (3.175-mm) Ball	X Scale, 1/4-in. (6.350-mm) Ball	Y Scale, 1/2-in. (12.70-mm) Ball
15 (147)	15N	15T	15W	15X	15Y
30 (294)	30N	30T	30W	30X	30Y
45 (441)	45N	45T	45W	45X	45Y

TABLE 7 A Minimum Thickness Guide for Selection of Scales Using the Diamond Indenter (see Fig. 5)

NOTE 1—For any given thickness, the indicated Rockwell hardness is the minimum value acceptable for testing. For a given hardness, material of any greater thickness than that corresponding to that hardness can be tested on the indicated scale.

Minimum Thickness		Rockwell Scale		
		A	C	
in.	mm	Hardness Reading	Approximate Hardness C-Scale ^A	Dial Reading
0.014	0.36	...	...	...
0.016	0.41	86	69	...
0.018	0.46	84	65	...
0.020	0.51	82	61.5	...
0.022	0.56	79	56	69
0.024	0.61	76	50	67
0.026	0.66	71	41	65
0.028	0.71	67	32	62
0.030	0.76	60	19	57
0.032	0.81	...	...	52
0.034	0.86	...	...	45
0.036	0.91	...	...	37
0.038	0.96	...	...	28
0.040	1.02	...	...	20

^A These approximate hardness numbers are for use in selecting a suitable scale and should not be used as hardness conversions. If necessary to convert test readings to another scale, refer to Hardness Conversion Tables E 140 (Relationship Between Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Rockwell Superficial Hardness, and Knoop Hardness).

performed on diameters smaller than those given in Tables 11-14 are not acceptable.

6.5 *Precautions for materials having excessive, time-dependent plasticity (indentation creep):* In the case of materials exhibiting plastic flow after application of the total test force, the indenter will continue to move. The total test force should be removed after the specified dwell time, and the time

TABLE 8 A Minimum Thickness Guide for Selection of Scales Using the 1/16-in. (1.588-mm) Diameter Ball Indenter (see Fig. 6)

NOTE 1—For any given thickness, the indicated Rockwell hardness is the minimum value acceptable for testing. For a given hardness, material of any greater thickness than that corresponding to that hardness can be tested on the indicated scale.

Minimum Thickness		Rockwell Scale		
		F	B	
in.	mm	Hardness Reading	Approximate Hardness B-Scale ^A	Hardness Reading
0.022	0.56	...	...	...
0.024	0.61	98	72	94
0.026	0.66	91	60	87
0.028	0.71	85	49	80
0.030	0.76	77	35	71
0.032	0.81	69	21	62
0.034	0.86	...	...	52
0.036	0.91	...	...	40
0.038	0.96	...	...	28
0.040	1.02	...	...	...

^A These approximate hardness numbers are for use in selecting a suitable scale and should not be used as hardness conversions. If necessary to convert test readings to another scale refer to Hardness Conversion Tables E 140 (Relationship Between Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Rockwell Superficial Hardness and Knoop Hardness).

recorded after the test results (that is, 65 HRFW, 4 s) if longer than 3 s. When materials require the use of a dwell time greater than 3 s, this should be specified in the product specification.

7. Procedure

7.1 As part of the test procedure, periodic checks shall be performed. See Section 14 for recommendations.

7.2 The test is normally carried out at ambient temperature within the limits of 50 to 95°F (10 to 35°C). However, because

ASTM E 18 – 03^{ε1}

TABLE 9 A Minimum Thickness Guide for Selection of Scales Using the Diamond Indenter (see Fig. 5)

NOTE 1—For any given thickness, the indicated Rockwell hardness is the minimum value acceptable for testing. For a given hardness, material of any greater thickness than that corresponding to that hardness can be tested on the indicated scale

Minimum Thickness		Rockwell Superficial Scale					
		15N		30N		45N	
in.	mm	Hardness Reading	Approximate Hardness C-Scale ^A	Hardness Reading	Approximate Hardness C-Scale ^A	Hardness Reading	Approximate Hardness C-Scale ^A
0.006	0.15	92	65	...	...	...	...
0.008	0.20	90	60	...	...	...	...
0.010	0.25	88	55	...	...	...	...
0.012	0.30	83	45	82	65	77	69.5
0.014	0.36	76	32	78.5	61	74	67
0.016	0.41	68	18	74	56	72	65
0.018	0.46	...	...	66	47	68	61
0.020	0.51	...	...	57	37	63	57
0.022	0.56	...	...	47	26	58	52.5
0.024	0.61	...	...	...	...	51	47
0.026	0.66	...	...	...	...	37	35
0.028	0.71	...	...	...	...	20	20.5
0.030	0.76	...	...	...	...	...	...

^A These approximate hardness numbers are for use in selecting a suitable scale, and should not be used as hardness conversions. If necessary to convert test readings to another scale, refer to Hardness Conversion Tables E 140 (Relationship Between Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Rockwell Superficial Hardness and Knoop Hardness).

TABLE 10 A Minimum Thickness Guide for Selection of Scales Using the 1/16 in. (1.588 mm) Diameter Ball Indenter (see Fig. 6)

NOTE 1—For any given thickness, the indicated Rockwell hardness is the minimum value acceptable for testing. For a given hardness, material of any greater thickness than that corresponding to that hardness can be tested on the indicated scale.

Minimum Thickness		Rockwell Superficial Scale					
		15T		30T		45T	
in.	mm	Hardness Reading	Approximate Hardness B-Scale ^A	Hardness Reading	Approximate Hardness B-Scale ^A	Hardness Reading	Approximate Hardness B-Scale ^A
0.010	0.25	91	93	...	...	...	...
0.012	0.30	86	78	...	...	...	...
0.014	0.36	81	62	80	96	...	...
0.016	0.41	75	44	72	84	71	99
0.018	0.46	68	24	64	71	62	90
0.020	0.51	...	...	55	58	53	80
0.022	0.56	...	...	45	43	43	70
0.024	0.61	...	...	34	28	31	58
0.026	0.66	...	...	...	...	18	45
0.028	0.71	...	...	...	...	4	32
0.030	0.76	...	...	...	...	...	...

^A These approximate hardness numbers are for use in selecting a suitable scale, and should not be used as hardness conversions. If necessary to convert test readings to another scale refer to Hardness Conversion Tables E 140 (Relationship Between Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Rockwell Superficial Hardness and Knoop Hardness).

temperature variation may affect the results, users of the Rockwell test may choose to control the temperature within a tighter range.

7.3 The test piece shall be supported rigidly so that no effects of displacement occur during the test.

7.4 Bring the indenter into contact with the test surface and apply the preliminary test force P_0 (minor load) of 10 kgf (98 N) for the Rockwell hardness test or 3 kgf (29 N) for Rockwell superficial hardness test in a direction perpendicular to the surface without shock or vibration. (See Table 15 for tolerances of test forces.) The dwell time for the preliminary test force shall not exceed 3 s.

7.5 Establish the reference position (see *Manufacturer's Instruction Manual*) and increase the force, without shock or

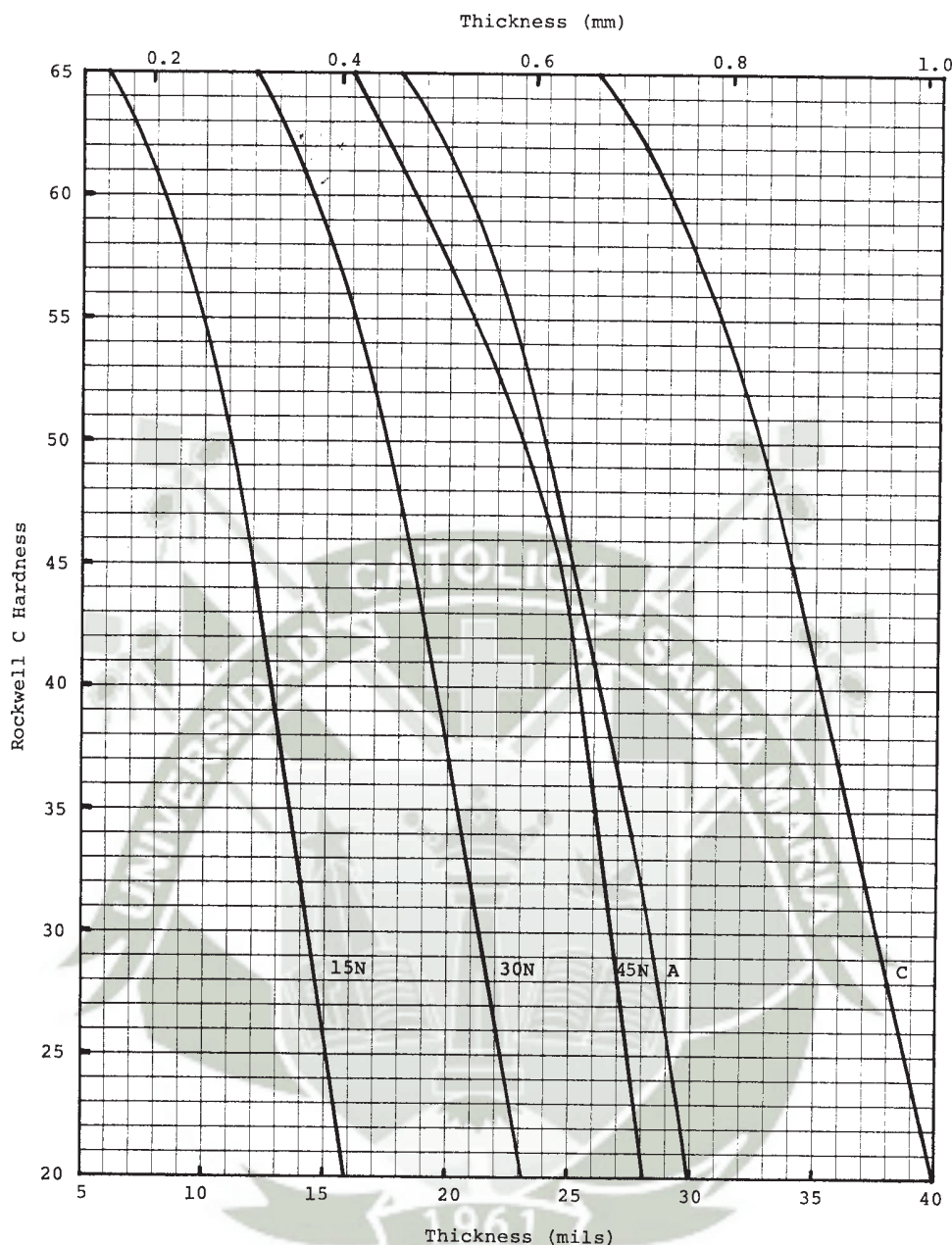
vibration, over a period of 1 to 8 s by the value of the additional test force, P_1 (additional load) needed to obtain the required total test force P for a given hardness scale (see Tables 5 and 6).

7.6 While maintaining the preliminary test force P_0 , remove the additional test force P_1 in accordance with the following:

7.6.1 For materials which, under the conditions of the test, show no time-dependent plasticity, remove P_1 within 3 s after the total test force is applied.

7.6.2 For materials which, under the conditions of the test, show some time-dependent plasticity, remove P_1 within 5 to 6 s when using diamond cone indenter and within 6 to 8 s when using steel ball indenter after the application of the total test force begins.

ASTM E 18 - 03^{ε1}



NOTE 1—Locate a point corresponding to the thickness-hardness combination to be tested. Only scales falling to the left of this point may be used to test this combination.

FIG. 5 Thickness Limits for Rockwell Hardness Testing Using the Diamond Indenter

7.6.3 In special cases where the material, under the conditions of the test, shows considerable time-dependent plasticity, remove P_1 within 20 to 25 s after the application of the total test force begins.

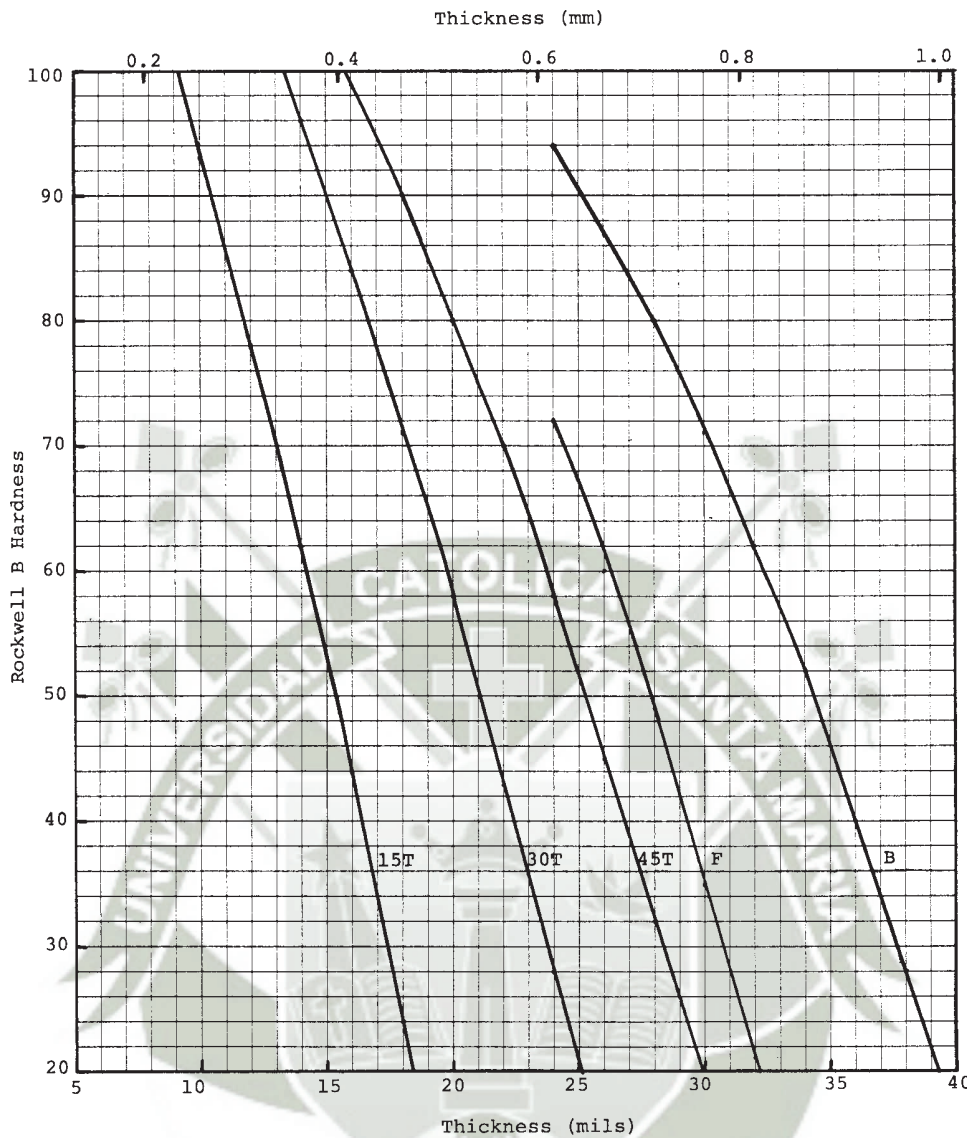
7.6.4 When materials require the use of a dwell time greater than 3 s, this shall be specified in the product specification, and the dwell time shall be recorded.

7.7 Throughout the test, the apparatus shall be protected from shock or vibration.

7.8 The Rockwell hardness number is derived from the differential increase in depth of indentation e and is usually read directly. The derivation of the Rockwell hardness number is illustrated in Figs. 1-4.

7.9 After each change, or removal and replacement, of the indenter or the anvil, it shall be ascertained that the indenter (or the new anvil) is correctly mounted in its housing.

ASTM E 18 - 03^{ε1}



NOTE 1—Locate a point corresponding to the thickness-hardness combination to be tested. Only scales falling to the left of this point may be used to test this combination.

FIG. 6 Thickness Limits for Rockwell Hardness Testing Using the 1/16-in. (1.588-mm) Diameter Ball Indenter

7.9.1 The first two readings after an indenter or anvil has been mounted shall be disregarded, and the operation of the machine checked with the appropriate standardized hardness test block.

NOTE 4—It is recognized that appropriate standardized test blocks are not available for all geometric shapes, or materials, or both.

7.10 The distance between the center of two adjacent indentations shall be at least three times the diameter of the indentation.

7.10.1 The distance from the center of any indentation to an edge of the test piece shall be at least two and a half times the diameter of the indentation.

7.11 Unless otherwise specified, all readings are to be reported to the nearest whole number, rounding in accordance with Practice E 29.

8. Conversion to Other Hardness Scales or Tensile Strength Values

8.1 There is no general method of accurately converting the Rockwell hardness numbers on one scale to Rockwell hardness numbers on another scale, or to other types of hardness numbers, or to tensile strength values. Such conversions are, at best, approximations and, therefore, should be avoided except for special cases where a reliable basis for the approximate conversion has been obtained by comparison tests.

NOTE 5—The Standard Hardness Conversion Tables E 140, for Metals, give approximate conversion values for specific materials such as steel, austenitic stainless steel, nickel and high-nickel alloys, cartridge brass, copper alloys, and alloyed white cast irons.

NOTE 6—ASTM Specifications giving approximate hardness-tensile strength relationships are listed in Appendix X1.

ASTM E 18 – 03^{ε1}

TABLE 11 Corrections to Be Added to Rockwell C, A, and D Values Obtained on Convex Cylindrical Surfaces^A of Various Diameters

Dial Reading	Diameters of Convex Cylindrical Surfaces								
	¼ in. (6.4 mm)	⅜ in. (10 mm)	½ in. (13 mm)	⅝ in. (16 mm)	¾ in. (19 mm)	⅞ in. (22 mm)	1 in. (25 mm)	1¼ in. (32 mm)	1½ in. (38 mm)
	Corrections to be Added to Rockwell C, A, and D Values ^B								
20	6.0	4.5	3.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0
25	5.5	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0
30	5.0	3.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5
35	4.0	3.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
40	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5
45	3.0	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5
50	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
55	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0
60	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0
65	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0
70	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0
75	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0
80	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
85	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0
90	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0

^A When testing cylindrical specimens, the accuracy of the test will be seriously affected by alignment of elevating screw, V-anvil, indenters, surface finish, and the straightness of the cylinder.

^B These corrections are approximate only and represent the averages to the nearest 0.5 Rockwell number, of numerous actual observations.

TABLE 12 Corrections to Be Added to Rockwell B, F, and G Values Obtained on Convex Cylindrical Surfaces^A of Various Diameters

Hardness Reading	Diameters of Convex Cylindrical Surfaces						
	¼ in. (6.4 mm)	⅜ in. (10 mm)	½ in. (13 mm)	⅝ in. (16 mm)	¾ in. (19 mm)	⅞ in. (22 mm)	1 in. (25 mm)
	Corrections to be Added to Rockwell B, F, and G Values ^B						
0	12.5	8.5	6.5	5.5	4.5	3.5	3.0
10	12.0	8.0	6.0	5.0	4.0	3.5	3.0
20	11.0	7.5	5.5	4.5	4.0	3.5	3.0
30	10.0	6.5	5.0	4.5	3.5	3.0	2.5
40	9.0	6.0	4.5	4.0	3.0	2.5	2.5
50	8.0	5.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
60	7.0	5.0	3.5	3.0	2.5	2.0	2.0
70	6.0	4.0	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5
80	5.0	3.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.5
90	4.0	3.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.0
100	3.5	2.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5

^A When testing cylindrical specimens, the accuracy of the test will be seriously affected by alignment of elevating screw, V-anvil, indenters, surface finish, and the straightness of the cylinder.

^B These corrections are approximate only and represent the averages to the nearest 0.5 Rockwell number, of numerous actual observations.

9. Report

9.1 The report shall include the following information:

9.1.1 The Rockwell hardness number (see 3.1.2).

9.1.1.1 All reports of Rockwell hardness test readings shall indicate the scale used and also the ambient temperature of test if it was outside the 50 to 95°F (10 to 35°C) range (see 7.2). Unless otherwise specified, all readings are to be reported to the nearest whole number, rounding to be in accordance with Practice E 29.

9.1.2 The time of application of the total test force if greater than 3 s.

9.1.3 Any lubricant that is used on the test surface (see 6.1).

10. Precision and Bias

10.1 *Precision*—An interlaboratory test program is now in progress. When completed, it will be the basis of a statement on precision.

10.2 *Bias*—There is no basis for defining the bias for this method.

ASTM E 18 – 03^{ε1}

TABLE 13 Corrections to Be Added to Rockwell Superficial 15N, 30N, and 45N Values Obtained on Convex Cylindrical Surfaces of Various Diameters^A

Hardness Reading	Diameters of Convex Cylindrical Surfaces					
	1/8 in. (3.2 mm)	1/4 in. (6.4 mm)	3/8 in. (10 mm)	1/2 in. (13 mm)	3/4 in. (19 mm)	1 in. (25 mm)
	Corrections to be Added to Rockwell Superficial 15N, 30N, and 45N Values ^B					
20	6.0	3.0	2.0	1.5	1.5	1.5
25	5.5	3.0	2.0	1.5	1.5	1.0
30	5.5	3.0	2.0	1.5	1.0	1.0
35	5.0	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0
40	4.5	2.5	1.5	1.5	1.0	1.0
45	4.0	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0
50	3.5	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5
55	3.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.5
60	3.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
65	2.5	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5
70	2.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5
75	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0
80	1.0	0.5	0.5	0.5	0	0
85	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0
90	0	0	0	0	0	0

^A When testing cylindrical specimens the accuracy of the test will be seriously affected by alignment of elevating screw, V-anvil, indenters, surface finish, and the straightness of the cylinder.

^B These corrections are approximate only and represent the averages, to the nearest 0.5 Rockwell superficial number, of numerous actual observations.

TABLE 14 Corrections to Be Added to Rockwell Superficial 15T, 30T, and 45T Values Obtained on Convex Cylindrical Surfaces^A of Various Diameters

Hardness Reading	Diameters of Convex Cylindrical Surfaces						
	1/8 in. (3.2 mm)	1/4 in. (6.4 mm)	3/8 in. (10 mm)	1/2 in. (13 mm)	5/8 in. (16 mm)	3/4 in. (19 mm)	1 in. (25 mm)
	Corrections to be Added to Rockwell Superficial 15T, 30T, and 45T Values ^B						
20	13.0	9.0	6.0	4.5	4.5	3.0	2.0
30	11.5	7.5	5.0	3.5	3.5	2.5	2.0
40	10.0	6.5	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0
50	8.5	5.5	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5
60	6.5	4.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5
70	5.0	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0
80	3.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5
90	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5

^A When testing cylindrical specimens, the accuracy of the test will be seriously affected by alignment of elevating screw, V-anvil, indenters, surface finish, and the straightness of the cylinder.

^B These corrections are approximate only and represent the averages, to the nearest 0.5 Rockwell superficial number, of numerous actual observations.

TABLE 15 Tolerances on Applied Forces

Load, kgf (N)	Tolerance, kgf (N)
10 (98)	±0.20 (±1.96)
60 (589)	±0.45 (±4.41)
100 (981)	±0.65 (±6.37)
150 (147)	±0.90 (±8.83)
3 (29)	±0.060 (±0.589)
15 (147)	±0.100 (±0.981)
30 (294)	±0.200 (±1.961)
45 (441)	±0.300 (±2.943)

 E 18 – 03^{e1}

B. VERIFICATION OF MACHINES FOR ROCKWELL HARDNESS AND ROCKWELL SUPERFICIAL HARDNESS TESTING

11. Scope

11.1 Part B covers two procedures for the verification of machines for Rockwell hardness and Rockwell superficial hardness testing and a procedure which is recommended for use to confirm that the machine is operating satisfactorily in the intervals between the periodical routine checks made by the user. The two methods of verification are:

11.1.1 Separate verification of test force, indenter, and the depth measuring device followed by a performance test (13.2). This method shall be used for new and rebuilt machines.

11.1.2 Verification by standardized test block method. This test method shall be used in referee, laboratory, or routine testing to assure the operator that the machine for Rockwell hardness testing is operating properly (see 13.2).

12. General Requirements

12.1 Before a Rockwell hardness testing machine is verified, it shall be checked to ensure that:

12.1.1 The machine is properly set up.

12.1.2 The indenter-holder is properly seated in the plunger.

12.1.3 When the indenter is a steel ball, the holder is fitted with a new ball that complies with 13.1.2.2. A new ball is not required when a tungsten carbide ball is used.

12.1.4 When the indenter is a diamond indenter, it must be free from defects which may affect the accuracy of the test (See 13.1.2.1).

12.1.5 The test force can be applied and removed without shock or vibration and in such a manner that the readings are not influenced.

12.1.6 The readings are not affected by deformations of the frame.

13. Verification

13.1 Direct Verification—Direct verification involves verification of the test force, verification of the indenter, and verification of the measuring device.

13.1.1 *Verification of the Test Force:*

13.1.1.1 The preliminary test force P_0 and each total test force P used (see Table 15) shall be measured, and this shall be done at not less than three positions of the plunger uniformly spaced throughout its range of movement during testing.

13.1.1.2 The forces shall be measured by one of the following two methods described in Practices E 4.

(1) Measuring by means of an elastic proving device previously calibrated to Class A accuracy of $\pm 0.25\%$, or

(2) balancing against a force, accurate to $\pm 0.25\%$ applied by means of standardized masses with mechanical advantage.

13.1.1.3 Three readings shall be taken for each force at each position of the plunger. Immediately before each reading is taken, the plunger shall have been moved in the same direction as during testing.

13.1.1.4 Each measurement of the preliminary test force before application and after removal of the additional test force and each measurement of the total force shall be within the tolerances given in Table 15.

13.1.2 Verification of the indenter.

13.1.2.1 *Diamond Indenter:*

(1) The diamond indenter shall be free from surface defects (cracks, chips, pits, etc.) and polished to such an extent that no unpolished part of its surface makes contact with the test piece when the indenter penetrates to a depth of 0.3 mm for Rockwell hardness testing and 0.2 mm for Rockwell superficial hardness testing.

(2) The verification of the shape of the indenter can be made by direct measurement or by measurement of its projection on a screen. The verification shall be made at not less than four approximately equally spaced sections.

(3) The diamond indenter shall have an included angle of $120^\circ \pm 0.35^\circ$.

(4) The angle between the axis of the diamond indenter and the axis of the indenter holder (normal to the seating surface) shall not exceed 0.5° .

(5) The spherical tip of the diamond cone shall have a mean radius of 0.200 ± 0.010 mm. In each measured section the radius shall not exceed 0.200 ± 0.015 mm and local deviations from a true radius shall not exceed 0.002 mm. The surfaces of the cone and spherical tip shall blend in a truly tangential manner.

(6) The hardness values given by the testing machine do not depend only on the dimensions given in 13.1.2.1 (c-e), but also on the surface roughness and the position of the crystallographic axis of the diamond and the seating of the diamond in its holder. For this reason, a performance test is considered necessary. The indenter shall be used in a standardizing machine in which the test force applied and the measuring device can be verified by fundamental measurement. Tests shall be made on a minimum of two standardized blocks, that comply with the requirements of Part C, one from each of the minimum and maximum ranges specified in Table 16. Three test impressions shall be made on each of these blocks. The

TABLE 16 Hardness Ranges Used in Verification by Standardized Test Block Method^A

Rockwell Scale	Hardness Ranges
C	$\left\{ \begin{array}{l} 20 \text{ to } 30 \\ 35 \text{ to } 55 \\ 59 \text{ to } 65 \end{array} \right.$
B	$\left\{ \begin{array}{l} 40 \text{ to } 59 \\ 60 \text{ to } 79 \\ 80 \text{ to } 100 \end{array} \right.$
30N	$\left\{ \begin{array}{l} 40 \text{ to } 50 \\ 55 \text{ to } 73 \\ 75 \text{ to } 80 \end{array} \right.$
30T	$\left\{ \begin{array}{l} 43 \text{ to } 56 \\ 57 \text{ to } 70 \text{ incl} \\ \text{over } 70 \text{ to } 82 \end{array} \right.$

^A For scales not listed, use equivalent hardness ranges as those shown; for example, 20 HRC to 30 HRC corresponds to 69.4 HR 15N to 75.0 HR 15N.

ASTM E 18 – 03^{ε1}

mean of these readings shall not differ from the value of the standardized test block by more than the amount shown in Table 17.

13.1.2.2 Indenter Balls:

NOTE 7—**Caution:** Steel balls have been shown to give different results than tungsten carbide balls.

(1) For the purpose of verifying the size and the hardness of the indenter, it is considered sufficient to test a sample selected at random from a batch. The ball(s) verified for hardness shall be discarded.

(2) The ball shall be polished and free from surface defects.

(3) The user shall either measure the balls to ensure that they meet the following requirements, or he shall obtain balls from a supplier who can certify that the following conditions are met. The diameter, when measured at not less than three positions, shall not differ from the nominal diameter by more than the tolerance given in Table 18.

Steel ball: The hardness of the steel ball shall not be less than 746 HV10. Mean diagonals of Vickers impressions corresponding to this hardness level are given in Table 19.

Tungsten carbide ball: The hardness of the tungsten carbide ball shall not be less than 1500 HV10. The material of the tungsten carbide balls shall have a density of $14.8 \text{ g/cm}^3 \pm 0.2 \text{ g/cm}^3$ and the following chemical composition:

Total other carbides	2.0 % maximum
Cobalt (Co)	5.0 to 7.0 %
Tungsten carbide (WC)	balance

13.1.3 Verification of the Measuring Device:

13.1.3.1 The depth-measuring device shall be verified over not less than three intervals, including the intervals corresponding to the lowest and highest hardnesses for which the scales are normally used by making known incremental movements of the indenter.

13.1.3.2 The instrument used to verify the depth measuring device shall have an accuracy of 0.0002 mm.

13.1.3.3 The depth-measuring device shall correctly indicate within ± 0.5 of Rockwell unit, over each interval. This corresponds to ± 0.001 mm for regular Rockwell ranges and ± 0.0005 mm on Rockwell superficial ranges.

13.2 Indirect Verification—Indirect verification may be carried out by means of standardized blocks calibrated in accordance with Part C. For Rockwell hardness scales that use a ball indenter, the standardized blocks to be used for the indirect verification shall have been calibrated with the same type of ball indenter (that is, steel or tungsten carbide) as the indenter that will be used for the indirect verification.

13.2.1 Procedure:

13.2.1.1 For indirect verification of a testing machine, the following procedures shall be applied: The testing machine

TABLE 17 Allowable Deviation in Hardness Readings for Verified Diamond Indenters

For Hardness Readings in Range of:	Allowable Deviation, Rockwell Units
C 63	± 0.5
C 25	± 1.0
30N 80	± 0.5
30N 45	± 1.0

TABLE 18 Tolerances for Rockwell Hardness Ball Indenters

Diameter of Ball		Tolerance ^A	
in.	mm	in.	mm
1/16	1.588	± 0.0001	± 0.0025
1/8	3.175	± 0.0001	± 0.0025
1/4	6.350	± 0.0001	± 0.0025
1/2	12.700	± 0.0001	± 0.0025

^A For balls in the range of diameters specified, these tolerances and the permissible variation in the diameter of any one ball, as specified in 19.1.3, are met by Grade 24 balls of the Anti-Friction Bearing Manufacturers' Association (ABMA).

TABLE 19 Maximum Mean Diagonal of Vickers Hardness Indentation on Steel Balls

Ball Diameters		Maximum Mean Diagonal of Indentation on the Ball Made with Vickers Indenter Under 10-kgf (98-N) Load, mm
in.	mm	
1/16	1.588	0.141
1/8	3.175	0.144
1/4	6.350	0.145
1/2	12.700	0.147

shall be verified using standardized test blocks in the low, middle, and high hardness ranges for each scale to be used. Commonly used hardness scales and hardness ranges are given in Table 16. The testing machine shall not be adjusted between tests made on the three test blocks. The verification is incomplete unless the requirements of 13.5 are met.

13.2.1.2 In accordance with Part A of this test method, make five indentations on each standardized block, distributed uniformly over the block's surface and report the hardness values to within 0.2 of a Rockwell unit. Before making these indentations, at least two indentations shall be made to ensure that the machine is working freely and that the standardized block, the indenter, and the anvil are seating correctly. The results of these preliminary indentations shall be ignored.

13.2.1.3 For each standardized test block, let R_1, R_2, \dots, R_5 be the hardness readings of the 5 indentations arranged in increasing order of magnitude.

13.2.2 Repeatability:

13.2.2.1 The repeatability of the testing machine under the particular verification conditions is determined by the following quantity:

$$R_5 - R_1 \quad (1)$$

13.2.2.2 The repeatability of the testing machine verified is considered satisfactory if it satisfies the conditions given in Table 20.

13.2.3 Error:

13.2.3.1 The error of the testing machine under the particular verification conditions is expressed by the following quantity:

$$\bar{R} - R \quad (2)$$

where:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_5}{5}, \text{ and}$$

R = stated hardness of the standardized test block used.

ASTM E 18 – 03^{ε1}

TABLE 20 Repeatability of Machines

Range of Standardized Hardness Test Blocks	The Repeatability ^A of the Machine Shall Be Not Greater Than:
<i>Rockwell C Scale:</i>	
25 to 30	2.0
35 to 55	1.5
59 to 65	1.0
<i>Rockwell B Scale:</i>	
40 to 59	2.5
60 to 79	2.0
80 to 100	2.0
<i>Rockwell 30N Scale:</i>	
40 to 50	2.0
55 to 73	1.5
75 to 80	1.0
<i>Rockwell 30T Scale:</i>	
43 to 56	2.5
57 to 70, incl	2.0
Over 70 to 82	2.0

^A The repeatability of machines on Rockwell or Rockwell superficial hardness scales other than those given in Table 20 shall be the equivalent converted difference in hardness for those scales, except for the 15N and 15T scales. In the case of the 15N and 15T scales, the repeatability shall be no greater than 1.0 for all ranges.

Example—At C 60, typical readings of a series of indentations might range from 59 to 60, 59.5 to 60.5, 60 to 61, etc. Thus, converted A-scale values corresponding to C 59 to 60 (see Table II of Hardness Conversion Tables E 140) would be A 80.7 to 81.2 and the repeatability for the A-scale would be 0.5.

13.2.3.2 The mean hardness value for the five tests shall not differ from the mean corresponding to the hardness of the standardized test block by more than the tolerance of the latter (shown in Table 21).

13.3 It should be understood that hardness test blocks, diamond indentors, and machine designs vary between manufacturers and that if all parameters are met under 13.1, it is possible that change of one or more of the parameters may be needed to meet indirect verification on test blocks. Consult manufacturer's instructions on the proper method to make corrections *within the tolerances specified in this test method*.

13.4 *Time Interval Between Verifications*—It is recommended that testing machines be verified annually or more frequently if required. In no case shall the time interval between verifications exceed 18 months.

13.5 *Verification Report:*

13.5.1 The verification report shall include the following information:

- 13.5.1.1 Reference to this ASTM Test Method,
- 13.5.1.2 Method of verification (direct or indirect),
- 13.5.1.3 Identification data of the hardness testing machine,
- 13.5.1.4 Means of verification (test blocks, elastic proving devices, etc.)
- 13.5.1.5 The Rockwell hardness scale(s) verified,
- 13.5.1.6 The result obtained,

TABLE 21 Tolerance Values for Standardized Test Blocks

Nominal Hardness of Standardized Test Block	Tolerance Values of the Test Block Shall Not Be Greater Than
<i>C Scale^A</i>	
60 and Greater	±0.5
Below 60	±1.0
<i>A Scale</i>	
80 and Greater	±0.5
Below 80 to 60.5, incl	±1.0
<i>15N Scale</i>	
90 and Greater	±0.7
Below 90 to 69.4, incl	±1.0
<i>30N Scale</i>	
77.5 and Greater	±0.7
Below 77.5 to 41.5, incl	±1.0
<i>45N Scale</i>	
66.5 and Greater	±0.7
Below 66.5 to 19.6, incl	±1.0
<i>B Scale^B</i>	
45 and Greater	±1.0
Below 45 to 1.5, incl	±1.5
<i>F Scale</i>	
99.6 to 57.0, incl	±1.0
<i>15T Scale</i>	
75.3 and Greater	±1.0
Below 75.3 to 60.5, incl	±1.5
<i>30T Scale</i>	
46.2 and Greater	±1.0
Below 46.2 to 15.0, incl	±1.5
<i>45T Scale</i>	
17.6 and Greater	±1.0
Below 17.6 to 1.0, incl	±1.5

^A All other scales on steel blocks of the equivalent converted values are as follows: 70.0 HRC to 60.0 HRC = ±0.5 and 59.9 HRC to 20.0 HRC = ±1.0.

^B All other scales on brass blocks of the equivalent converted values are as follows: 100.0 HRB to 1.0 HRB = ±1.0.

13.5.1.7 Date of verification and reference to the verifying agency, and

13.5.1.8 Signature of verifying agency representative.

14. Procedure for Periodic Checks by the User

14.1 Verification by the standardized test block method (13.2) is too lengthy for daily use. Instead, the following is recommended:

14.1.1 Make at least one routine check each day that the testing machine is used. See Part A of this test method.

14.1.2 Before making the check, make at least two preliminary indentations to ensure that the hardness testing machine is working freely and that the test block, indenter, and anvil are seated correctly. The results of these preliminary indentations should be ignored.

14.1.3 Make at least three hardness readings on a standardized hardness test block on the scale and at the hardness level at which the machine is being used. If the mean of these values falls within the tolerances marked on the standardized hardness test block, the machine may be regarded as satisfactory. If not, the machine should be verified as described in 13.2.

 E 18 – 03^{e1}

C. CALIBRATION OF STANDARDIZED TEST BLOCKS FOR MACHINES USED FOR ROCKWELL AND ROCKWELL SUPERFICIAL HARDNESS TESTING

15. Scope

15.1 Part C specifies a test method for the calibration of standardized blocks to be used in Rockwell hardness testing machines for the indirect verification of these machines as described in Part B.

16. Manufacture

16.1 The attention of the manufacturer of the block is drawn to the need to use a manufacturing process which will give the necessary homogeneity, stability of structure, and uniformity of surface hardness.

16.2 Each metal block to be standardized shall be of a thickness not less than 0.236 in. (6 mm).

16.3 The area of the test surface of the block shall not be more than 4 in.² (2581 mm²).

16.4 The standardized block shall be free of magnetism. It is recommended that the manufacturer ensure that the blocks, if of steel, have been demagnetized at the end of the manufacturing process.

16.5 The maximum deviation in flatness of the surfaces shall not exceed 0.0002 in. (0.005 mm).

16.6 The maximum error in parallelism shall not exceed 0.0002 in. per in. (mm per mm).

16.7 The test surface shall be free from scratches which interfere with the measurement of the indentation. The mean surface roughness (R_a) shall not exceed 12 μ m. (0.0003 mm) center line average.

16.8 The bottom surface shall have a fine ground finish.

16.9 To assure that material is not removed from the test surface, its thickness at the time of standardization (to the nearest \pm 0.005 in. (0.1 mm)) shall be marked on the block or an identifying mark shall be made on the test surface. Resurfacing of a test block for reuse is not recommended; however, if a standard test block is reconditioned, the new test surface must be recalibrated in accordance with this section.

17. Standardizing Machine

17.1 In addition to fulfilling the general requirements specified in Sections 12 and 13, the standardizing machine shall also meet the following requirements:

17.1.1 The machine shall be verified directly. Direct verification involves the following:

17.1.1.1 Verification of the test force (see 13.1.1),

17.1.1.2 Verification of the indenter (see 13.1.2), and

17.1.1.3 Verification of the measuring device (see 13.1.3).

17.1.2 Each preliminary test force shall be correct to within \pm 0.5 %. Each total test force shall be correct to within \pm 0.25 %.

17.1.3 The verification of the shape of the indenter can be made by direct measurement or by measurement of its projection on a screen. The verification shall be made at not less than eight approximately equally spaced sections.

17.1.4 The diamond indenter shall have an included angle of $120^\circ \pm 0.1^\circ$.

17.1.5 The angle between the axis of the diamond indenter and the axis of the indenter holder (normal to the seating surface) shall not exceed 0.3° .

17.1.6 The tip of the diamond indenter shall be spherical with a mean radius of 0.200 ± 0.005 mm. In each measured section the radius shall not exceed 0.200 ± 0.007 mm and local deviations from a true radius shall not exceed 0.002 mm. The surface of the cone and spherical tip shall blend in a truly tangential manner.

17.1.7 The diameter of the indenter ball shall be within the tolerance of 0.001 mm.

17.1.8 The measuring device shall be capable of accurately measuring vertical displacements corresponding to ± 0.1 of a regular Rockwell unit and ± 0.1 for a superficial Rockwell unit.

18. Standardizing Procedure

18.1 The standardized test blocks shall be calibrated in a standardizing machine as described in Section 17 at a temperature of $73^\circ\text{F} \pm 5^\circ\text{F}$ ($23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) using the general test procedure described in Part A.

18.2 The standardized test blocks shall be calibrated traceable to the national Rockwell standards maintained at NIST when primary standardized test blocks are available from NIST for the specific Rockwell scale.

19. Number of Indentations

19.1 In accordance with Part A of this test method, make at least five indentations on each standardized block, distributed uniformly over the block's surface.

20. Uniformity of Hardness

20.1 Let R_1, R_2, \dots, R_5 be the measured values in Rockwell units arranged in increasing order of magnitude.

20.2 The nonuniformity of the block under the particular conditions of standardization is characterized by $R_5 - R_1$.

20.3 The nonuniformity of the block must satisfy the conditions of Table 22.

21. Marking and Certification Requirements

21.1 Each standardized test block shall be marked with the following:

21.1.1 Arithmetic mean of the hardness values found in the standardizing test reported to the nearest tenth, for example: 66.3 HRC or 80.2 HRBW,

21.1.2 Tolerance value (see Table 21),

21.1.3 Name or mark of the supplier,

21.1.4 Unique serial number,

21.1.5 Name or mark of the calibrating agency if different from supplier,

21.1.6 Thickness of the block or an identifying mark on the test surface, and

21.1.7 *Year of Calibration*. It is sufficient that the year of calibration be incorporated into the serial number of the block.

21.2 All of the markings, except the official mark, should be placed outside of the test area or on the side of the block. When

 E 18 – 03^{ε1}

TABLE 22 Maximum Nonuniformity of Standardized Test Blocks

Nominal Hardness of Standardized Test Block	Nonuniformity of the Test Block Shall Not Be Greater Than
<i>C Scale</i> ^A	
60 and Greater	0.5
Below 60	1.0
<i>A Scale</i>	
80 and Greater	0.5
Below 80 to 60.5, incl	1.0
<i>15N Scale</i>	
90 and Greater	0.7
Below 90 to 69.4, incl	1.0
<i>30N Scale</i>	
77.5 and Greater	0.7
Below 77.5 to 41.5, incl	1.0
<i>45N Scale</i>	
66.5 and Greater	0.7
Below 66.5 to 19.6, incl	1.0
<i>B Scale</i> ^B	
45 and Greater	1.0
Below 45 to 1.5, incl	1.5
<i>F Scale</i>	
99.6 to 57.0, incl	1.0
<i>15T Scale</i>	
75.3 and Greater	1.0
Below 75.3 to 60.5, incl	1.5
<i>30T Scale</i>	
46.2 and Greater	1.0
Below 46.2 to 15.0, incl	1.5
<i>45T Scale</i>	
17.6 and Greater	1.0
Below 17.6 to 1.0, incl	1.5

^A All other scales on steel blocks of the equivalent converted values are as follows: 70.0 HRC to 60.0 HRC = 0.5 and 59.9 HRC to 20.0 HRC = 1.0.

^B All other scales on brass blocks of the equivalent converted values are as follows: 100.0 HRB to 1.0 HRB = 1.0.

the markings are on the side of the block, the markings shall be upright when the test surface is the upper surface.

21.3 Each block shall be supplied with a certificate showing the results of the individual standardizing tests and the arithmetic mean of those tests, including the following:

- 21.3.1 Date of standardization,
- 21.3.2 Serial number of block, and
- 21.3.3 Name of manufacturer or mark of supplier.

22. Keywords

- 22.1 metallic; Rockwell Hardness

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. LIST OF ASTM SPECIFICATIONS GIVING HARDNESS VALUES CORRESPONDING TO TENSILE STRENGTH

X1.1 The following ASTM standards give approximate Rockwell hardness or Rockwell superficial hardness values corresponding to the tensile strength values specified for the

materials covered: Test Methods and Definitions A 370 and Specifications B 19, B 36, B 96, B 97, B 103, B 121/B 121 M, B 122/B 122 M, B 130, B 134, B 152, B 291, and B 370.

X2. EXAMPLES OF PROCEDURES FOR DETERMINING ROCKWELL HARDNESS UNCERTAINTY

X2.1 Scope

X2.1.1 The intent of this appendix is to provide a basic approach to evaluating the uncertainty of Rockwell hardness measurement values in order to simplify and unify the interpretation of uncertainty by users of Rockwell hardness.

X2.1.2 This appendix provides basic procedures for determining the uncertainty of the following values of hardness:

X2.1.2.1 *The Hardness Machine "Error" Determined as Part of an Indirect Verification (see X2.6)*—As part of an indirect verification, a number of Rockwell hardness measurements are made on a reference test block. The average of the measurement values is compared to the certified value of the reference block to determine the "error" (see 13.2) of the

hardness machine. The procedure described in section X2.6 provides a method for determining the uncertainty in this measurement "error" of the hardness machine. The uncertainty value may be reported on the verification certificate and report.

X2.1.2.2 *Rockwell Hardness Value Measured by a User (see X2.7)*—The procedure provides a method for determining the uncertainty in the hardness values measured by a user during the normal use of a Rockwell hardness machine. The user may report the uncertainty value with the measurement value.

X2.1.2.3 *Certified Value of a Rockwell Hardness Test Block (see X2.8)*—The procedure provides a method for determining the uncertainty in the certified value of standardized test

 E 18 – 03^{e1}

blocks. The standardizing agency may report the uncertainty value on the test block certificate.

NOTE X2.1—When calculated, uncertainty values reported by a field calibration agency (see X2.6) are not the measurement uncertainties of the hardness machine in operation, but only that of the measurements made at the time of verification to determine machine “error.”

NOTE X2.2—The procedures outlined in this appendix for the determination of uncertainties are based primarily on measurements made as part of the verification and standardization procedures of this test method. This is done to provide a method that is based on familiar procedures and practices of Rockwell hardness users and standardizing agencies. The reader should be aware that there are other methods that may be employed to determine the same uncertainties, which may provide more accurate estimations of the uncertainty values.

NOTE X2.3—This standard states tolerances or limits on the acceptable repeatability and error of a Rockwell hardness machine (Tables 20 and 21) and the nonuniformity of standardized blocks (Table 22). These limit values were originally established based on the testing experience of many users of the Rockwell hardness test, and therefore reflect the normal performance of a properly functioning Rockwell hardness machine, including the normal errors associated with the measurement procedure and the machine’s performance. Because the limits are based on testing experience, it is believed that the stated limit values take into account a level of uncertainty that is typical for valid Rockwell hardness measurements. Consequently, when determining compliance with Tables 20-22, the user’s measurement uncertainty should not be subtracted from the tolerance limit values given in the tables, as is commonly done for other types of metrological measurements. The calculated values for repeatability, error or block nonuniformity should be directly compared to the tolerance limits given in the tables.

NOTE X2.4—Most product specification tolerances for Rockwell hardness were established based on testing and performance experience. The tolerance values reflect the normal performance of a properly functioning Rockwell hardness machine, including the normal acceptable errors associated with the hardness measurement process. For these products, the stated tolerance limits take into account a level of uncertainty that is typical for valid Rockwell hardness measurements. Consequently, when acceptance testing most products for Rockwell hardness, the user’s measurement uncertainty should not be subtracted from the tolerance limit values given in the specification. The measured hardness values should be directly compared to the tolerances. There may be exceptional circumstances where the hardness of a product must fall within determined ranges to a high level of confidence. In these rare occasions, special agreement between the parties involved should be obtained before the hardness measurement uncertainty is subtracted from the tolerance limits. Before such an agreement is made, it is recommended that the product design take into consideration the anticipated influence of material and metallurgical factors on the product variation as well as typical industry hardness uncertainty values.

X2.1.3 This appendix does not address uncertainties at the primary reference standardizing level.

X2.2 Equations

X2.2.1 The average (*AVG*), \bar{H} , of a set of n hardness measurements H_1, H_2, \dots, H_n is calculated as:

$$AVG(H_1, H_2, \dots, H_n) = \bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad (X2.1)$$

X2.2.2 The standard deviation (*STDEV*) of a set of n hardness measurements H_1, H_2, \dots, H_n is calculated as:

$$STDEV(H_1, H_2, \dots, H_n) = \sqrt{\frac{(H_1 - \bar{H})^2 + \dots + (H_n - \bar{H})^2}{n - 1}} \quad (X2.2)$$

where \bar{H} is the average of the set of n hardness measurements H_1, H_2, \dots, H_n as defined in Eq X2.1.

X2.2.3 The absolute value (*ABS*) of a number is the magnitude of the value irrespective of the sign, for example:

$$ABS(0.12) = 0.12$$

and

$$ABS(-0.12) = 0.12$$

X2.3 General Requirements

X2.3.1 The approach for determining uncertainty presented in this appendix considers only those uncertainties associated with the overall measurement performance of the Rockwell hardness machine with respect to reference standards. These performance uncertainties reflect the combined effect of the separate uncertainties associated with the numerous individual components of the machine, such as the force application system and indentation depth measuring system. Therefore, the uncertainties associated with the individual components of the machine are not included in the calculations. Because of this approach, it is important that the individual machine components are operating within tolerances. It is strongly recommended that this procedure be applied only after successfully passing a direct verification.

X2.3.2 The procedures given in this appendix are appropriate only when the Rockwell hardness machine has passed an indirect verification in accordance with the procedures and schedules of this test method standard.

X2.3.3 The procedures for calculating the uncertainty of Rockwell hardness measurement values are similar for both a standardizing machine and testing machine. The principal difference is in the hierarchy level of the reference test blocks normally used for the indirect verification. Generally, standardizing machines are verified using primary reference standards, and testing machines are standardized using secondary reference standards.

X2.3.4 To estimate the overall uncertainty of Rockwell hardness measurement values, contributing components of uncertainty must be determined. Because many of the uncertainties may vary depending on the specific hardness scale and hardness level, an individual measurement uncertainty should be determined for each hardness scale and hardness level of interest. In many cases, a single uncertainty value may be applied to a range of hardness levels based on the laboratory’s experience and knowledge of the operation of the hardness machine.

X2.3.5 Uncertainty should be determined with respect to a country’s highest level of reference standard or the national reference standard of another country. In some cases, the highest level of reference standard may be a commercial reference standard.

X2.4 General Procedure

X2.4.1 This procedure calculates a combined standard uncertainty u_c by combining the contributing components of uncertainty u_1, u_2, \dots, u_n , such that:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2} \quad (X2.3)$$

 E 18 – 03^{€1}

X2.4.2 Measurement uncertainty is usually expressed as an expanded uncertainty U which is calculated by multiplying the combined standard uncertainty u_c by a numerical coverage factor k , such that:

$$U = k \times u_c \quad (X2.4)$$

X2.4.3 A coverage factor is chosen that depends on how well the standard uncertainty was estimated (number of measurements), and the level of uncertainty that is desired. For this analysis, a coverage factor of $k = 2$ should be used. This coverage factor provides a confidence level of approximately 95 %.

X2.4.4 The measurement bias B of the hardness machine is the difference between the expected hardness measurement values as displayed by the hardness machine and the “true” hardness of a material. Ideally, measurement biases should be corrected. When test systems are not corrected for measurement bias, as often occurs in Rockwell hardness testing, the bias then contributes to the overall uncertainty in a measurement. There are a number of possible methods for incorporating biases into an uncertainty calculation, each of which has both advantages and disadvantages. A simple and conservative method is to combine the bias with the calculation of the expanded uncertainty as:

$$U = ku_c + ABS(B) \quad (X2.5)$$

where $ABS(B)$ is the absolute value of the bias.

X2.4.5 Because several approaches may be used to evaluate and express measurement uncertainty, a brief description of what the reported uncertainty values represent should be included with the reported uncertainty value.

X2.5 Sources of Uncertainty

X2.5.1 This section describes the most significant sources of uncertainty in a Rockwell hardness measurement and provides procedures and formulas for calculating the total uncertainty in the hardness value. In later sections, it will be shown how these sources of uncertainty contribute to the total measurement uncertainty for the three measurement circumstances described in X2.1.2.

X2.5.2 The sources of uncertainty to be discussed are (1) the hardness machine’s lack of repeatability, (2) the non-uniformity in hardness of the material under test, (3) the hardness machine’s lack of reproducibility, (4) the resolution of the hardness machine’s measurement display, and (5) the uncertainty in the certified value of the reference test block standards. An estimation of the measurement bias and its inclusion into the expanded uncertainty will also be discussed.

X2.5.3 *Uncertainty Due to Lack of Repeatability (u_{Repeat}) and when Combined with Non-uniformity ($u_{Rep\& NU}$)*—The repeatability of a hardness machine is an indication of how well it can continually produce the same hardness value each time a measurement is made. Imagine there is a material, which is perfectly uniform in hardness over its entire surface. Also imagine that hardness measurements are made repeatedly on this uniform material over a short period of time without varying the testing conditions (including the operator). Even though the actual hardness of every test location is exactly the same, it would be found that due to random errors each

measurement value would differ from all other measurement values (assuming sufficient measurement resolution). Therefore, lack of repeatability prevents the hardness machine from being able to always measure the true hardness of the material, and hence contributes to the uncertainty in the measurement.

X2.5.3.1 The contribution that a hardness machine’s lack of repeatability makes to the overall measurement uncertainty is determined differently depending on whether a single measurement value or an average of multiple measurements is to be reported. Additionally, in cases where the reported average measurement value is intended to be an estimate of the average hardness of the material tested, the uncertainty contributions due to the machine’s lack of repeatability and the non-uniformity in the hardness of the test material are difficult to separate and must be determined together. The uncertainty contributions for each of these circumstances may be estimated as follows.

X2.5.3.2 *Single Hardness Measurement*—For a future single hardness measurement, the standard uncertainty contribution u_{Repeat} , due to the lack of repeatability, may be estimated by the standard deviation of the values from a number of hardness measurements made on a uniform test sample as:

$$u_{Repeat} = STDEV(H_1, H_2, \dots, H_n) \quad (X2.6)$$

where H_1, H_2, \dots, H_n are the n hardness values. In general, the estimate of repeatability is improved as the number of hardness measurements is increased. Usually, the hardness values measured during an indirect verification will provide an adequate estimate of u_{Repeat} ; however, the caution given in Note X2.6 should be considered. It may be more appropriate for the user to determine a value of u_{Repeat} by making hardness measurements close together (within spacing limitations) on a uniform material, such as a test block.

NOTE X2.5—The uncertainty u_{Repeat} , due to the lack of repeatability of a hardness machine as discussed above, should not be confused with the historically defined “repeatability” that is a requirement to be met as part of an indirect verification (see 13.2). The calculations of the uncertainty u_{Repeat} and of the historically defined repeatability do not produce the same value. The uncertainty u_{Repeat} is the contribution to the overall uncertainty of a hardness measurement value due to a machine’s lack of repeatability, while the historically defined repeatability is the range of hardness values measured during an indirect verification.

NOTE X2.6—All materials exhibit some degree of hardness non-uniformity across the test surface. Therefore, the above evaluation of the uncertainty contribution due to the lack of repeatability will also include a contribution due to the hardness non-uniformity of the measured material. When evaluating repeatability as discussed above, any uncertainty contribution due to the hardness non-uniformity should be minimized as much as possible. The laboratory should be cautioned that if the measurements of repeatability are based on tests made across the surface of the material, then the repeatability value will likely include a significant uncertainty contribution due to the material’s non-uniformity. A machine’s repeatability is better evaluated by making hardness measurements close together (within spacing limitations).

X2.5.3.3 *Average of Multiple Measurements*—When the average of multiple hardness test values is to be reported, the standard uncertainty contribution u_{Repeat} , due to the lack of repeatability of the hardness machine, may be estimated by dividing the standard uncertainty contribution u_{Repeat} (previously calculated from a number of hardness measurements

 E 18 – 03^{€1}

made on a uniform test sample, see X2.5.3.1) by the square-root of the number of hardness test values being averaged, as:

$$u_{Repeat} = \frac{u_{Repeat}}{\sqrt{n_T}} \quad (X2.7)$$

where u_{Repeat} is calculated by Eq X2.6 and n_T is the number of individual hardness test values being averaged.

X2.5.3.4 Estimate of the Material Hardness—Hardness measurements are often made at several locations and the values averaged in order to estimate the average hardness of the material as a whole. For example, this may be done when making quality control measurements during the manufacture of many types of products; when determining the machine “error” as part of an indirect verification; and when calibrating a test block. Because all materials exhibit some degree of hardness non-uniformity across the test surface, the extent of a material’s non-uniformity also contributes to the uncertainty in this estimate of the average hardness of the material. When the average of multiple hardness measurement values is calculated as an estimate of the average material or product hardness, it may be desired to state the uncertainty in this value with respect to the true hardness of the material. In this case, the combined uncertainty contributions due to the lack of repeatability in the hardness machine and the non-uniformity in the test material may be estimated from the “standard deviation of the mean” of the hardness measurement values. This is calculated as the standard deviation of the hardness values, divided by the square-root of the number of measurements as:

$$u_{Rep\&NU} = \frac{STDEV(H_{T1}, H_{T2}, \dots, H_{Tn})}{\sqrt{n_T}} \quad (X2.8)$$

where $H_{T1}, H_{T2}, \dots, H_{Tn}$ are the n_T measurement values.

X2.5.4 Uncertainty Due to Lack of Reproducibility (u_{Reprod})—The day-to-day variation in the performance of the hardness machine is known as its level of reproducibility. Variations such as different machine operators and changes in the test environment often influence the performance of the hardness machine. The level of reproducibility is best determined by monitoring the performance of the hardness machine over an extended period of time during which the hardness machine is subjected to the extremes of variations in the testing variables. It is very important that the test machine be in control during the assessment of reproducibility. If the machine is in need of maintenance or is operated incorrectly, the lack of reproducibility will be over estimated.

X2.5.5 An assessment of a hardness machine’s lack of reproducibility should be based on periodic monitoring measurements of the hardness machine, such as daily verification measurements made on the same test block over time. The uncertainty contribution may be estimated by the standard deviation of the average of each set of monitoring values, as:

$$u_{Reprod} = STDEV(M_1, M_2, \dots, M_n) \quad (X2.9)$$

where M_1, M_2, \dots, M_n are individual averages of each of the n sets of multiple monitoring measurement values.

NOTE X2.7—The uncertainty contribution due to the lack of reproducibility, as calculated in Eq X2.9, also includes a contribution due to the machine’s lack of repeatability and the non-uniformity of the monitoring test block; however, these contributions are based on the average of

multiple measurements and should not significantly over-estimate the reproducibility uncertainty.

X2.5.6 Uncertainty Due to the Resolution of the Hardness Measurement Display (u_{Resol})—The finite resolution of the hardness value display prevents the hardness machine from providing an absolutely accurate hardness value. However, the influence of the display resolution on the measurement uncertainty is usually only significant when the hardness display resolution is no better than 0.5 Rockwell hardness units, such as for some dial displays. The uncertainty contribution u_{Resol} due to the influence of the display resolution, may be described by a rectangular distribution and estimated as:

$$u_{Resol} = \frac{r/2}{\sqrt{3}} = \frac{r}{\sqrt{12}} \quad (X2.10)$$

where r is the resolution limit that a hardness value can be estimated from the measurement display in Rockwell hardness units.

X2.5.7 Standard Uncertainty in the Certified Average Hardness Value of the Reference Test Block (u_{RefBlk})—Reference test blocks provide the link to the Rockwell standard to which traceability is claimed. The certificate accompanying reference test blocks should provide an uncertainty in the stated certified value, and should state to which Rockwell standard the reference test block value is traceable. This uncertainty contributes to the measurement uncertainty of hardness machines calibrated or verified with the reference test blocks. Note that the uncertainty reported on reference test block certificates is typically stated as an expanded uncertainty. As indicated by Eq X2.4, the expanded uncertainty is calculated by multiplying the standard uncertainty by a coverage factor (often 2). This analysis uses the standard uncertainty and not the expanded uncertainty value. Thus, the uncertainty value due to the uncertainty in the certified value of the reference test block usually may be calculated as:

$$u_{RefBlk} = \frac{U_{RefBlk}}{k_{RefBlk}} \quad (X2.11)$$

where U_{RefBlk} is the reported expanded uncertainty of the certified value of the reference test block, and k_{RefBlk} is the coverage factor used to calculate the uncertainty in the certified value of the reference standard (usually 2).

X2.5.8 Measurement Bias (B)—The measurement bias is the difference between the hardness measurement values as displayed by the hardness machine and the “true” hardness of a material. The measurement bias B may be estimated by the “error” determined as part of the indirect verification as:

$$B = \bar{H} - \bar{H}_{RefBlk} \quad (X2.12)$$

where \bar{H} is the mean hardness value as measured by the hardness machine during the indirect verification, and \bar{H}_{RefBlk} is the certified average hardness value of the reference test block standard used for the indirect verification.

X2.6 Procedure for Calculating Uncertainty: Indirect Verification

X2.6.1 As part of an indirect verification, the “error” of the hardness machine is determined from the average value of measurements made on a reference test block (see 13.2). This

ASTM E 18 – 03^{ε1}

value provides an indication of how well the hardness machine can measure the “true” hardness of a material. Since there is always uncertainty in a hardness measurement, it follows that there must be uncertainty in the determination of the average value of the measurements, and thus the determination of the machine “error.” This section provides a procedure that can be used, for example by a field calibration agency, to estimate the uncertainty U_{Mach} in the measurement “error” of the hardness machine determined as the difference between the average of the measurement values and the certified value of the reference block used for the verification.

X2.6.2 The contributions to the standard uncertainty of the measurement “error,” u_{Mach} , are (1) $u_{Rep\&NU}(Ref. Block)$, the uncertainty due to the lack of repeatability of the hardness machine combined with the uncertainty due to the non-uniformity in the reference test block (Eq X2.8), which is determined from the hardness measurements made on a reference test block to determine the “error” of the hardness machine, (2) u_{Resol} , the uncertainty due to the resolution of the hardness machine measurement display (Eq X2.10), and (3) u_{RefBlk} , the standard uncertainty in the certified value of the reference test block (Eq X2.11). The notation (*Ref. Block*) is added to the term $u_{Rep\&NU}$ to clarify that the uncertainty is determined from measurements made on the reference block used for the indirect verification.

X2.6.3 The combined standard uncertainty u_{Mach} and the expanded uncertainty U_{Mach} are calculated by combining the appropriate uncertainty components described above for each hardness level of each Rockwell scale as:

$$u_{Mach} = \sqrt{u_{Rep\&NU}^2(Ref. Block) + u_{Resol}^2 + u_{RefBlk}^2} \quad (X2.13)$$

and

$$U_{Mach} = ku_{Mach} \quad (X2.14)$$

X2.6.4 For this analysis, a coverage factor of $k = 2$ should be used. This coverage factor provides a confidence level of approximately 95 %.

NOTE X2.8—The uncertainty contribution u_{Mach} as calculated in Eq X2.13 does not include a contribution due to the machine’s lack of reproducibility. This is because it is assumed that the indirect verification is made while the hardness machine is operating at its optimal performance level with the best possible environmental conditions.

NOTE X2.9—The expanded uncertainty U_{Mach} will commonly be larger than the value of the hardness machine “error.”

X2.6.5 *Reporting the Measurement Uncertainty*—This expanded uncertainty U_{Mach} may be reported by a verification agency to its customer as an indication of the uncertainty in the hardness machine “error” reported as part of the indirect verification of the Rockwell hardness machine. The value of U_{Mach} should be supplemented with a statement defining to what Rockwell scale and hardness level the uncertainty is applicable, with an explanatory statement such as, “The expanded uncertainty of the hardness machine “error” reported as part of the indirect verification for the stated Rockwell scale(s) and hardness level(s) is with respect to Rockwell hardness reference standards maintained at _____ (for example, NIST), and was calculated in accordance with Appendix X2 of ASTM E 18 with a coverage factor of 2 representing a confidence level of approximately 95 %.”

X2.6.6 The standard uncertainty value u_{Mach} can be used as an uncertainty contribution when determining the measurement uncertainty of future measurements made with the hardness machine (see X2.7 and X2.8).

X2.6.7 *Example X2.1*—As part of an indirect verification of a Rockwell hardness machine, a verification agency needs to report an estimate of the uncertainty of the hardness machine “error.” For this example, an evaluation will only be made for measurements made on the low range of the HRC scale. The hardness machine has a digital display with a resolution of 0.1 HRC. The agency performs five verification measurements on a low range HRC hardness block. The reported certified value of the reference test block is 25.7 HRC with an expanded uncertainty of $U_{RefBlk} = 0.45$ HRC. The five verification measurements values are: 25.4, 25.3, 25.5, 25.3, and 25.7 HRC, resulting in an average value of 25.44 HRC, a repeatability (range) value of 0.4 HRC and an “error” of -0.26 HRC. Therefore:

$$u_{Rep\&NU}(Ref. Block) = \frac{STDEV(25.4, 25.3, 25.5, 25.3, 25.7)}{\sqrt{5}}$$

$$\text{or } u_{Rep\&NU}(Ref. Block) = 0.075 \text{ HRC}$$

$$u_{Resol} = \frac{0.1}{\sqrt{12}} = 0.029 \text{ HRC, and}$$

$$u_{RefBlk} = \frac{0.45}{2} = 0.225 \text{ HRC}$$

Thus,

$$u_{Mach} = \sqrt{0.075^2 + 0.029^2 + 0.225^2} = 0.239 \text{ HRC, and}$$

$$U_{Mach} = (2 \times 0.239) = 0.48 \text{ HRC}$$

Therefore, the uncertainty in the -0.26 HRC “error” in the hardness machine is 0.48 HRC. Although this evaluation was made on material having a hardness of approximately 25 HRC, the uncertainty may be considered to apply to the entire low range of the HRC scale. This calculation must be made for the mid and high ranges of the HRC scale, as well as for the ranges of the other Rockwell scales that are verified.

NOTE X2.10—The reader should be aware that in computing the final uncertainty value in all examples in this appendix, no rounding of results was done between steps. Consequently, if individual equations are solved using the rounded values that are given at each step of this example, some computed results might differ in value in the last decimal place from the results stated.

X2.7 Procedure for Calculating Uncertainty: Rockwell Hardness Measurement Values

X2.7.1 The uncertainty U_{Meas} in a hardness value measured by a user may be thought of as an indication of how well the measured value agrees with the “true” value of the hardness of the material.

X2.7.2 *Single Measurement Value*—When measurement uncertainty for a single hardness measurement value is to be determined, the contributions to the standard uncertainty u_{Meas} are (1) u_{Repeat} , the uncertainty due to the machine’s lack of repeatability (Eq X2.6), (2) u_{Reprod} , the uncertainty contribution due to the lack of reproducibility (Eq X2.9), (3) u_{Resol} , the uncertainty due to the resolution of the hardness machine measurement display (Eq X2.10), and (4) u_{Mach} , the uncertainty in determining the “error” of the hardness machine (Eq

 E 18 – 03^{€1}

X2.13). The combined standard uncertainty u_{Meas} is calculated by combining the appropriate uncertainty components described above for the applicable hardness level and Rockwell scale as:

$$u_{Meas} = \sqrt{u_{Repeat}^2 + u_{Reprod}^2 + u_{Resol}^2 + u_{Mach}^2} \quad (X2.15)$$

X2.7.3 *Average Measurement Value*—In the case that measurement uncertainty is to be determined for an average value of multiple hardness measurements, made either on the same test piece or multiple test pieces, the contributions to the standard uncertainty u_{Meas} are (1) u_{Repeat} , the uncertainty due to the machine’s lack of repeatability based on the average of multiple measurements (Eq X2.7), (2) u_{Reprod} , the uncertainty contribution due to the lack of reproducibility (Eq X2.9), (3) u_{Resol} , the uncertainty due to the resolution of the hardness machine measurement display (Eq X2.10), and (4) u_{Mach} , the uncertainty in determining the “error” of the hardness machine (Eq X2.13). The combined standard uncertainty u_{Meas} is calculated by combining the appropriate uncertainty components described above for the applicable hardness level and Rockwell scale as:

$$u_{Meas} = \sqrt{u_{Repeat}^2 + u_{Reprod}^2 + u_{Resol}^2 + u_{Mach}^2} \quad (X2.16)$$

X2.7.4 The measurement uncertainty discussed above for the single and average hardness values only represents the uncertainties of the measurement process and are independent of any test material non-uniformity.

X2.7.5 *Average Measurement Value as an Estimate of the Average Material Hardness*—Measurement laboratories and manufacturing facilities often measure the Rockwell hardness of a test sample or product for the purpose of estimating the average hardness of the test material. Usually, multiple hardness measurements are made across the surface of the test piece, and then the average of the hardness values is reported as an estimation of the average hardness of the material. If it is desired to report the uncertainty as an indication of how well the average measurement value represents the true average hardness of the material, then the contributions to the standard uncertainty u_{Meas} are (1) $u_{Rep\& NU (Material)}$, the uncertainty due to the machine’s lack of repeatability combined with the uncertainty due to the material’s non-uniformity (Eq X2.8), which is determined from the hardness measurements made on the test material, (2) u_{Reprod} , the uncertainty contribution due to the lack of reproducibility (Eq X2.9), (3) u_{Resol} , the uncertainty due to the resolution of the hardness machine measurement display (Eq X2.10), and (4) u_{Mach} , the uncertainty in determining the “error” of the hardness machine (Eq X2.13). The notation *(Material)* is added to the term $u_{Rep\& NU}$ to clarify that the uncertainty is determined from measurements made on the material under test. The combined standard uncertainty u_{Meas} is calculated by combining the appropriate uncertainty components described above for the applicable hardness level and Rockwell scale as:

$$u_{Meas} = \sqrt{u_{Rep\& NU (Material)}^2 + u_{Reprod}^2 + u_{Resol}^2 + u_{Mach}^2} \quad (X2.17)$$

X2.7.6 When reporting uncertainty as an indication of how well the average measurement value represents the true average hardness of the material, it is important to assure that a

sufficient number of measurements are made at the appropriate test locations to provide an appropriate sampling of any variations in the hardness of the material.

X2.7.7 The expanded uncertainty U_{Meas} is calculated for the three cases discussed above as:

$$U_{Meas} = ku_{Meas} + ABS(B) \quad (X2.18)$$

For this analysis, a coverage factor of $k = 2$ should be used. This coverage factor provides a confidence level of approximately 95 %.

X2.7.8 *Reporting Measurement Uncertainty*:

X2.7.8.1 *Single and Average Measurement Values*—When the reported measurement value is for a single hardness test or the average of multiple hardness tests, then the value of U_{Meas} should be supplemented with an explanatory statement such as, “The expanded measurement uncertainty of the reported hardness value (or average hardness value) is with respect to Rockwell hardness reference standards maintained at _____ [for example, NIST], and was calculated in accordance with Appendix X2 of ASTM E 18 with a coverage factor of 2 representing a confidence level of approximately 95 %.”

X2.7.8.2 *Average Measurement Value as an Estimate of the Average Material Hardness*—When it is desired to report the uncertainty as an indication of how well the average measurement value represents the true average hardness of the material, then the value of U_{Meas} should be supplemented with an explanatory statement such as, “The expanded uncertainty of the reported average hardness of the material under test is based on uncertainty contributions from the measurement process and from the hardness non-uniformity of the material. The uncertainty is with respect to Rockwell hardness reference standards maintained at _____ [for example, NIST], and was calculated in accordance with Appendix X2 of ASTM E 18 with a coverage factor of 2 representing a confidence level of approximately 95 %.” If the test report does not state the number of measurements that were averaged and the locations that the measurements were made, then this information should also be included as part of the brief explanation of how the uncertainty was calculated.

X2.7.8.3 *Example X2.2*—For this example, a company tests its product by making six Rockwell hardness measurements across its surface as an estimate of the product hardness. The hardness machine has a dial display that is judged to have a reading resolution of 0.5 HRC. The values of the hardness measurements of the product were 33, 31.5, 31.5, 32, 31, 32.5, resulting in an average value of 31.92 HRC. The testing facility would like to determine the measurement uncertainty in the average hardness value. A hardness of 31.92 HRC is closest to the low range of the HRC scale (see Table 16). The last indirect verification of the low range of the HRC scale reported $U_{Mach} = 0.8$ HRC and an “error” of -0.3 HRC. Therefore:

$$u_{Rep\& NU (Material)} = \frac{STDEV(33, 31.5, 31.5, 32, 31, 32.5)}{\sqrt{6}} \text{ or}$$

$$u_{Rep\& NU (Material)} = 0.300 \text{ HRC}$$

 E 18 – 03^{€1}

For this example, assume the hardness machine has been monitored for an extended period of time, and from Eq X2.9, it was determined that $u_{Reprod} = 0.21$ HRC for the low range of the HRC scale. Other uncertainty contributions are calculated as:

$$u_{Resol} = \frac{0.5}{\sqrt{12}} = 0.144 \text{ HRC and}$$

$$u_{Mach} = \frac{0.8}{2} = 0.4 \text{ HRC, therefore}$$

$$u_{Meas} = \sqrt{0.300^2 + 0.21^2 + 0.144^2 + 0.4^2} = 0.561 \text{ HRC}$$

and since $B = -0.3$ HRC, $U_{Meas} = (2 \times 0.561) + ABS(-0.3)$, or $U_{Meas} = 1.42$ HRC for the average value of the hardness measurements made on the single product item.

X2.8 Procedure for Calculating Uncertainty: Certified Value of Standardized Test Blocks

X2.8.1 Standardizing laboratories engaged in the calibration of reference test blocks must determine the uncertainty in the reported certified value. This uncertainty U_{Cert} provides an indication of how well the certified value would agree with the “true” average hardness of the test block.

X2.8.2 Test blocks are certified as having an average hardness value based on calibration measurements made across the surface of the test block. This analysis is essentially identical to the analysis given in 7.1 for measuring the average hardness of a product. In this case, the product is a calibrated reference test block. The contributions to the standard uncertainty u_{Cert} of the certified average value of the test block are (1) $u_{Rep\& NU}$ (*Calib. Block*), the uncertainty due to the standardizing machine’s lack of repeatability combined with the uncertainty due to the calibrated block’s non-uniformity (Eq X2.8), which is determined from the calibration measurements made on the test block, (2) u_{Reprod} , the uncertainty contribution due to the lack of reproducibility (Eq X2.9), (3) u_{Resol} , the uncertainty due to the resolution of the standardizing machine’s measurement display (Eq X2.10), and (4) u_{Mach} , the uncertainty in determining the “error” of the standardizing machine (Eq X2.13). The notation (*Calib. Block*) is added to the term $u_{Rep\& NU}$ to clarify that the uncertainty is determined from calibration measurements made on the calibrated block.

X2.8.3 The combined standard uncertainty u_{Cert} and the expanded uncertainty U_{Cert} are calculated by combining the appropriate uncertainty components described above for each hardness level of each Rockwell scale as:

$$u_{Cert} = \sqrt{u_{Rep\& NU}^2(\text{Calib. Block}) + u_{Reprod}^2 + u_{Resol}^2 + u_{Mach}^2} \quad (X2.19)$$

and

$$U_{Cert} = ku_{Cert} + ABS(B) \quad (X2.20)$$

X2.8.4 For this analysis, a coverage factor of $k = 2$ should be used. This coverage factor provides a confidence level of approximately 95 %.

X2.8.5 *Reporting the Measurement Uncertainty*—The value of U_{Cert} is an estimate of the uncertainty in the reported certified average hardness value of a reference test block. The reported value should be supplemented with a statement defining to what Rockwell scale and hardness level the uncertainty is applicable, with an explanatory statement such as, “The expanded uncertainty in the certified value of the test block is with respect to Rockwell hardness reference standards maintained at _____ [for example, NIST], and was calculated in accordance with Appendix X2 of ASTM E 18 with a coverage factor of 2 representing a confidence level of approximately 95 %.”

X2.8.6 *Example X2.3* —A secondary level test-block standardizing laboratory has completed the calibration of a test block in the hardness range of 40 HRC. The values of the calibration measurements of the block were 40.61, 40.72, 40.65, 40.61, and 40.55 HRC, resulting in an average value of 40.63 HRC and an E18 repeatability range of 0.17 HRC. The laboratory must determine the uncertainty in the certified average hardness value of the block. A hardness of 40 HRC is considered within the mid-range of the HRC scale (see Table 16). The last indirect verification of the mid range of the HRC scale reported $U_{Mach} = 0.16$ HRC and an “error” of +0.11 HRC. The standardizing machine has a digital display with a resolution of 0.01 HRC. Therefore:

$$u_{Rep\& NU}(\text{Calib. Block}) = \frac{STDEV(40.61, 40.72, 40.65, 40.61, 40.55)}{\sqrt{5}} \text{ or}$$

$$u_{Rep\& NU}(\text{Calib. Block}) = 0.028 \text{ HRC}$$

For this example, let’s assume that the standardizing machine has been monitored for an extended period of time, and from Eq X2.9, it was determined that $u_{Reprod} = 0.125$ HRC for the mid range of the HRC scale. Other uncertainty contributions are calculated as:

$$u_{Resol} = \frac{0.01}{\sqrt{12}} = 0.003 \text{ HRC and}$$

$$u_{Mach} = \frac{0.16}{2} = 0.08 \text{ HRC therefore,}$$

$$u_{Cert} = \sqrt{0.028^2 + 0.125^2 + 0.003^2 + 0.08^2} = 0.151 \text{ HRC}$$

and, since $B = +0.11$ HRC, $U_{Cert} = (2 \times 0.151) + ABS(+0.11)$, or $U_{Cert} = 0.41$ HRC for the certified hardness value of the single calibrated test block.

 E 18 – 03^{€1}

SUMMARY OF CHANGES

Committee E28 has identified the location of changes to this standard since the last issue, E 18-02, that may impact the use of this standard. (Approved June 10, 2003.)

(1) Addition of Appendix X2, Examples of Procedures for Determining Rockwell Hardness Uncertainty. (2) Summary of Changes revised.

Committee E28 has identified the location of changes to this standard since the last issue, E 18-00, that may impact the use of this standard. (Approved Jan. 10, 2002.) Note- Most of the changes listed below resulted from the new addition of allowing the use of tungsten-carbide indenter balls.

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| (1) Note 2 - added | (14) Note 4 - renumbered |
| (2) Paragraph 3.1.2.1 - revised | (15) Note 5 - renumbered |
| (3) Paragraph 3.1.2.2 - revised | (16) Note 6 - renumbered |
| (4) Paragraph 3.1.2.3 - revised | (17) Paragraph 9.1.3 - added |
| (5) Paragraph 3.1.3 - revised | (18) Paragraph 13.1.2.2 - revised |
| (6) Figure 2 caption - revised | (19) Note 7 - replaced and renumbered |
| (7) Paragraph 5.1.1 - revised | (20) Paragraph 13.1.2.2 (c) - revised |
| (8) Figure 4 caption - revised | (21) Table 18 footnote A - revised |
| (9) Paragraph 5.3.1 - revised | (22) Table 19 title - revised |
| (10) Paragraph 5.3.3 - revised | (23) Paragraph 17.1.7 - revised |
| (11) Paragraph 6.1 - revised | (24) Paragraph 21.1.1 - revised |
| (12) Note 3 - renumbered | (25) SUMMARY OF CHANGES added. |
| (13) Paragraph 6.5 - revised | |

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



ANEXO 6

NORMA E3-01 ENSAYO METALOGRAFICO



Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation E 3; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of a light optical or scanning electron microscope. In special cases, the objective of the examination may require the development of less detail than in other cases but, under nearly all conditions, the proper selection and preparation of the specimen is of major importance. Because of the diversity in available equipment and the wide variety of problems encountered, the following text presents for the guidance of the metallographer only those practices which experience has shown are generally satisfactory; it cannot and does not describe the variations in technique required to solve individual specimen preparation problems.

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching*, ASM, 1978; and VanderVoort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 2nd Ed., 1999.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 90/A 90M Standard Test Method for Weight (Mass) of Coating on Iron and Steel with Zinc or Zinc-Alloy Coatings
- E 7 Terminology Relating to Metallography²
- E 45 Practice for Determining the Inclusion Content of Steel²
- E 340 Test Method for Macroetching Metals and Alloys²
- E 407 Test Methods for Microetching Metals and Alloys²
- E 768 Practice for Preparing and Evaluating Specimens for Automatic Inclusion Assessment of Steel²

¹ This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee E04 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Sampling, Specimen Preparation, and Photography.

Current edition approved April 10, 2001. Published July 2001. Originally published as E 3 – 21 T. Last previous edition E 3 – 95.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

- E 1077 Test Method for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens²
- E 1122 Practice for Obtaining JK Inclusion Ratings Using Automatic Image Analysis²
- E 1245 Practice for Determining the Inclusion or Second-Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis²
- E 1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures²
- E 1558 Guide to Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens²
- E 1920 Guide for Metallographic Preparation of Thermal Sprayed Coatings²

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions used in this practice, refer to Terminology E 7.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *castable mount*—a metallographic mount generally made from a two component castable plastic. One component is the resin and the other hardener. Both components can be liquid or one liquid and a powder. Castable mounts generally do not require heat and pressure to cure.

3.2.2 *compression mount*—a metallographic mount made using plastic that requires both heat and pressure for curing.

3.2.3 *planar grinding*—is the first grinding step in a preparation procedure used to bring all specimens into the same plane of polish. It is unique to semi or fully automatic preparation equipment that utilize specimen holders.

3.2.4 *rigid grinding disc*—a non-fabric support surface, such as a composite of metal/ceramic or metal/polymer charged with an abrasive (usually 6 to 15 μ m diamond particles), and used as the fine grinding operation in a metallographic preparation procedure.

4. Significance and Use

4.1 Microstructures have a strong influence on the properties and successful application of metals and alloys. Determination and control of microstructure requires the use of metallographic examination.

4.2 Many specifications contain a requirement regarding microstructure; hence, a major use for metallographic examination is inspection to ensure that the requirement is met. Other

major uses for metallographic examination are in failure analysis, and in research and development.

4.3 Proper choice of specimen location and orientation will minimize the number of specimens required and simplify their interpretation. It is easy to take too few specimens for study, but it is seldom that too many are studied.

5. Selection of Metallographic Specimens

5.1 The selection of test specimens for metallographic examination is extremely important because, if their interpretation is to be of value, the specimens must be representative of the material that is being studied. The intent or purpose of the metallographic examination will usually dictate the location of the specimens to be studied. With respect to purpose of study, metallographic examination may be divided into three classifications:

5.1.1 *General Studies or Routine Work*—Specimens should be chosen from locations most likely to reveal the maximum variations within the material under study. For example, specimens could be taken from a casting in the zones wherein maximum segregation might be expected to occur as well as specimens from sections where segregation could be at a minimum. In the examination of strip or wire, test specimens could be taken from each end of the coils.

5.1.2 *Study of Failures*—Test specimens should be taken as closely as possible to the fracture or to the initiation of the failure. Before taking the metallographic specimens, study of the fracture surface should be complete, or, at the very least, the fracture surface should be documented. In many cases, specimens should be taken from a sound area for a comparison of structures and properties.

5.1.3 *Research Studies*—The nature of the study will dictate specimen location, orientation, etc. Sampling will usually be more extensive than in routine examinations.

5.2 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must be decided.

5.2.1 For a casting, a section cut perpendicular to the surface will show the variations in structure from the outside to the interior of the casting.

5.2.2 In hot-worked or cold-worked metals, both transverse and longitudinal sections should be studied. Special investigations may require specimens with surfaces prepared parallel to the original surface of the product.

5.2.3 In the case of wire and small rounds, a longitudinal section through the center of the specimen proves advantageous when studied in conjunction with the transverse section.

5.3 Transverse sections or cross sections taken perpendicular to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

5.3.1 Variations in structure from center to surface,

5.3.2 Distribution of nonmetallic impurities across the section,

5.3.3 Decarburization at the surface of a ferrous material (see Test Method E 1077),

5.3.4 Depth of surface imperfections,

5.3.5 Depth of corrosion,

5.3.6 Thickness of protective coatings, and

5.3.7 Structure of protective coating.

5.4 Longitudinal sections taken parallel to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

5.4.1 Inclusion content of steel (see Practices E 45, E 768, E 1122, and E 1245),

5.4.2 Degree of plastic deformation, as shown by grain distortion,

5.4.3 Presence or absence of banding in the structure (see Practice E 1268), and

5.4.4 The microstructure attained with any heat treatment.

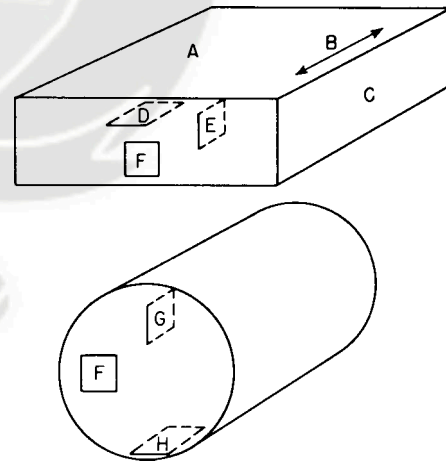
5.5 The locations of surfaces examined should always be given in reporting results and in any illustrative micrographs. A suitable method of indicating surface locations is shown in Fig. 1.

6. Size of Metallographic Specimens

6.1 For convenience, specimens to be polished for metallographic examination are generally not more than about 12 to 25 mm (0.5 to 1.0 in.) square, or approximately 12 to 25 mm in diameter if the material is cylindrical. The height of the specimen should be no greater than necessary for convenient handling during polishing.

6.1.1 Larger specimens are generally more difficult to prepare.

6.1.2 Specimens that are, fragile, oddly shaped or too small to be handled readily during polishing should be mounted to ensure a surface satisfactory for microscopical study. There are, based on technique used, three fundamental methods of mounting specimens (see Section 9).



Symbol in Diagram	Suggested Designation
A	Rolled surface
B	Direction of rolling
C	Rolled edge
D	Planar section
E	Longitudinal section perpendicular to rolled surface
F	Transverse section
G	Radial longitudinal section
H	Tangential longitudinal section

FIG. 1 Method of Designating Location of Area Shown in Photomicrograph.

7. Cutting of Metallographic Specimens

7.1 In cutting the metallographic specimen from the main body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

7.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy, fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 350 HV. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

7.1.2 An abrasive cut-off blade will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off blade, lubricant, cooling conditions, and the grade and hardness of metal being cut will influence the quality of the cut. A poor choice of cutting conditions can easily damage the specimen, producing an alteration of the microstructure. Generally, soft materials are cut with a hard bond blade and hard materials with a soft bond blade. Aluminum oxide abrasive blades are preferred for ferrous metals and silicon carbide blades are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off blades are essential for sectioning metals with hardness above about 350 HV. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting blades. Manufacturer’s instructions should be followed as to the choice of blade. Table 1 lists the suggested cutoff blades for materials with various Vickers (HV) hardness values.

7.1.3 A shear is a type of cutting tool with which a material in the form of wire, sheet, plate or rod is cut between two opposing blades.

7.2 Other methods of sectioning are permitted provided they do not alter the microstructure at the plane of polishing. All cutting operations produce some depth of damage, which will have to be removed in subsequent preparation steps.

8. Cleanliness

8.1 Cleanliness (see Appendix X1) during specimen preparation is essential. All greases, oils, coolants and residue from cutoff blades on the specimen should be removed by some suitable organic solvent. Failure to clean thoroughly can prevent cold mounting resins from adhering to the specimen surface. Ultrasonic cleaning may be effective in removing the last traces of residues on a specimen surface.

8.2 Any coating metal that will interfere with the subsequent etching of the base metal should be removed before

polishing, if possible. If etching is required, when studying the underlying steel in a galvanized specimen, the zinc coating should be removed before mounting to prevent galvanic effects during etching. The coating can be removed by dissolving in cold nitric acid (HNO₃, sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid (H₂SO₄) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The HNO₃ method requires care to prevent overheating, since large samples will generate considerable heat. By placing the cleaning container in cold water during the stripping of the zinc, attack on the underlying steel will be minimized. More information may be found in Test Method A 90/A 90M.

NOTE 2—Picral etchant produces little or no galvanic etching effects when used on galvanized steel.

NOTE 3—The addition of an inhibitor during the stripping of Zn from galvanized coatings will minimize the attack of the steel substrate. NEP (polyethylene polyamine) or SbCl₃ are two useful inhibitors.

8.3 Oxidized or corroded surfaces may be cleaned as described in Appendix X1.

9. Mounting of Specimens

9.1 There are many instances where it will be advantageous to mount the specimen prior to grinding and polishing. Mounting of the specimen is usually performed on small, fragile, or oddly shaped specimens, fractures, or in instances where the specimen edges are to be examined.

9.2 Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two.

9.3 Mechanical Mounting:

9.3.1 Strip and sheet specimens may be mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts.

9.3.2 The specimens should be tightly bound together to prevent absorption and subsequent exudation of polishing materials or etchants.

9.3.3 The use of filler sheets of a softer material alternated with the specimen may be used in order to minimize the seepage of polishing materials and etchants. Use of filler material is especially advantageous if the specimens have a high degree of surface irregularities.

9.3.4 Filler material *must* be chosen so as not to react electrolytically with the specimen during etching. Thin pieces of plastic, lead, or copper are typical materials that are used. Copper is especially good for steel specimens since the usual etchants for steels will not attack the copper.

9.3.5 Alternatively, the specimens may be coated with a layer of epoxy resin before being placed in the clamp in order to minimize the absorption of polishing materials or etchants.

9.3.6 The clamp material should be similar in composition to the specimen to avoid galvanic effects that would inhibit etching. The specimen will not etch if the clamp material is more readily attacked by the etchant.

9.3.7 The clamp should preferably be of similar hardness as the specimens to minimize the rounding of the edges of the specimens during grinding and polishing.

9.3.8 Exercise care in clamping the specimen. Excessive clamping pressure may damage soft specimen.

9.4 Plastic Mounting:

9.4.1 Specimens may be embedded in plastic to protect them from damage and to provide a uniform format for both

TABLE 1 Cutoff Blade Selection

Hardness HV	Materials	Abrasive	Bond	Bond Hardness
up to 300	non-ferrous (Al, Cu)	SiC	P or R	hard
up to 400	non-ferrous (Ti)	SiC	P or R	med. hard
up to 400	soft ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	hard
up to 500	medium soft ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	med. hard
up to 600	medium hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	medium
up to 700	hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R&R	med. soft
up to 800	very hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R&R	soft
> 800	extremely hard ferrous	CBN	P or M	hard
	more brittle ceramics	diamond	P or M	very hard
	tougher ceramics	diamond	M	ext. hard

P—phenolic
 R—rubber
 R&R—resin and rubber
 M—metal

manual and automatic preparation. This is the most common method for mounting metallographic specimens. Mounting plastics may be divided into two classes—compression and castable.

9.4.2 The choice of a mounting compound will influence the extent of edge rounding observed during the grinding and polishing operations. There are several methods available that minimize rounding. The specimen may be surrounded by hard shot, small rivets, rings, etc., of approximately the same hardness or, when using a castable resin, a slurry of resin and alumina may be poured around the specimen. The specimen may also be plated before mounting (see Section 10). Many mounting procedures result in sharp edges on the mount corners. The corners should be beveled to remove any plastic mounting flash.

9.4.3 *Compression Mounting*—There are four types of compression mounting plastics used predominantly in the metallographic laboratory (see Table 2). These plastics require the use of a mounting press providing heat (140-180°C) and force (27-30 MPa). Thermosetting plastics can be ejected hot but the best results are obtained when the cured mount is cooled under pressure. Thermoplastic compounds do not harden until cooled and therefore should not be ejected while hot. Regardless of the resin used, the best results are obtained when (1) the specimen is clean and dry, and (2) the cured mount is cooled under full pressure to below 40°C before ejection from the press. This will ensure minimal shrinkage gap formation.

9.4.4 *Castable Plastics*—Castable mounts are usually prepared at room temperature. Some may require an external heat source or applied pressure in order to cure. These resins consist of two or more components which must be mixed just prior to use. There are four kinds of castable plastics in common use (see Table 3).

9.4.5 The molds for castable plastics are often simple cups that hold the resin until it cures. They may be reusable or not; the choice is a matter of convenience and cost. Handling castable resins requires care. They all can cause dermatitis. Manufacturers' recommendations for mixing and curing must be followed to obtain best results.

9.5 *Mounting Porous Specimen:*

9.5.1 Porous or intricate specimens may be vacuum impregnated in order to fill voids, prevent contamination and seepage, and prevent loss of friable or loose components. Impregnation is accomplished by placing the specimen in a mold in a vacuum chamber and then introducing the resin into the mold after the chamber has been evacuated. The introduction of the resin into the mold can be accomplished either by having a funnel or stopcock fitted to the vacuum chamber or by having a basin of the resin present inside the chamber. A low-viscosity resin will produce the best results. The pressure in the chamber must remain above the critical vapor pressure of the hardener to

avoid boiling away the hardener. After the pressure has equilibrated, the resin is introduced into the mold and the vacuum is released and air admitted to the chamber. Atmospheric pressure will force the resin into fine pores, cracks, and holes.

9.5.2 If a low-viscosity resin is used, the funnel and stopcock may be eliminated. The specimen and resin are placed in the mold prior to evacuation. The air in the specimen will bubble out through the resin. Exercise care to ensure the hardening agent is not evaporated during evacuation. Dipping the specimen in the resin prior to placing it in the mold may help in filling voids.

9.5.3 Vacuum impregnation is an effective method for ensuring optimal results for porous metallographic mounts. It is imperative that the specimens be completely dry prior to impregnation.

9.5.4 A more rapid technique but less effective method is to lacquer the specimens with one of the formulations used by the canning industry to line food containers. The formulations are highly penetrating and the cure is a short time at low temperatures. After lacquering, the specimens are mounted in the usual fashion.

10. **Plating of Specimens**

10.1 Specimens such as fractures or those where it is necessary to examine the edges, are often plated to obtain good edge retention. Plating can be done electrolytically or with electroless solutions. These specimens are invariably mounted prior to the grinding and polishing procedures. Electroless plating solutions can be purchased commercially.

10.2 Thoroughly clean the specimen surface prior to plating to ensure good adhesion of the plating. Avoid industrial cleaning treatments that are too harsh and may cause damage to the specimen surface. Milder cleaning treatments that involve detergents, solvents, mild alkaline, or acidic solutions are recommended.

10.3 Chromium, copper, iron, nickel, gold, silver, and zinc may be electrolytically deposited although copper and nickel are predominantly used in metallographic laboratories.

10.3.1 Ferrous metals are commonly plated electrolytically with nickel or copper. A flash coat in a copper or electroless nickel bath can be first applied for specimens that are difficult to electroplate.

10.3.2 Nonferrous metals may be plated with silver and the precious metals may be plated with nickel, gold, or silver.

10.4 The plating material should not react galvanically with the base metal of the specimen during plating, polishing, or etching.

10.5 Electroless plating is preferred to electrolytic plating

TABLE 2 Characteristics of Hot-Compression Mounting Compounds

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	thermoplastic, cure time 10-15 min, optically clear, moderate shrinkage, low abrasion resistance, degraded by hot etchants
Diallyl phthalate ^A	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, minimal shrinkage, good resistance to etchants, moderate abrasion resistance
Epoxy ^A	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, very low shrinkage, good resistance to etchants, high abrasion resistance
Phenolic ^A (Bakelite)	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, moderate shrinkage, degraded by hot etchants, moderate abrasion resistance

^A These compounds may be filled with wood flour, glass fiber or mineral particulate.

TABLE 3 Characteristics of Castable Mounting Compounds

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	Cure time 8-15 min, moderate shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, low abrasion resistance, opaque to transparent
Polyester-acrylic (quartz-filled)	Cure time 8-15 min, very low shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, high abrasion resistance, opaque
Polyester	Cure time 30-60 min, high shrinkage, peak curing temperature can reach 90- 120 C during polymerization, moderate abrasion resistance, transparent
Epoxy	Cure time ½-20 h, very low shrinkage, good adhesion, low heat generation during polymerization, moderate abrasion resistance, low viscosity (good for vacuum impregnation), transparent

for specimens with rough, porous, or irregular surfaces, because the electroless solution provides better surface coverage and penetration.

10.6 Active metals such as zinc and aluminum are difficult to plate. Sometimes a flash cyanide copper plate can be deposited, which then can be followed by normal plating from a sulfate bath. Evaporated coatings of copper, gold, or chromium may also be used as starter coatings.

10.7 It is recommended that the plating thickness be at least 5µm.

11. Grinding and Polishing

General Information

11.1 Many metals and alloys can be prepared using a similar sequence of grinding and polishing. Hard alloys may require greater pressure than soft alloys. The major differences will be in the final polishing. Some metals and alloys will require specific combinations of abrasive and support material, but a surprising number can be handled by the same procedure. Supplies and instructions for grinding, lapping, and polishing are readily obtainable from laboratory supply houses.

11.2 *Grinding*—Grinding can be done in a number of ways, ranging from rubbing the specimen on a stationary piece of abrasive paper to the use of automatic devices. The choice of method depends on the number and type of specimens to be done, financial considerations and requirements such as flatness and uniformity.

11.2.1 Abrasive grit size designations in this practice are expressed in the ANSI (American National Standards Institute) or CAMI (Coated Abrasives Manufacturers Institute) system units with the corresponding FEPA (European Federation of Abrasive Producers) numbers in parentheses. Table 4 provides a correlation between these two systems and the approximate median particle diameter for a given size in micrometres.

11.2.2 Grinding should start with the finest paper, platen or stone capable of flattening the specimen and removing the effects of prior operations, such as sectioning. The subsequent steps should remove the effects of previous ones in a short time. Grinding consists of two stages- planar (rough) and fine.

11.2.3 Planar or rough grinding [240 grit (P220) and coarser] may be performed on belts, rotating wheels or stones. In some methods, diamond abrasives are used on rigid platens. Planar grinding may be used to accomplish the following:

11.2.3.1 Flatten an irregular or damaged cut surface,

11.2.3.2 Remove sectioning damage, scale and other surface conditions prior to mounting,

11.2.3.3 Remove substantial amounts of specimen material to reach a desired plane for polishing,

TABLE 4 European/USA Grit Grade Comparison Guide

FEPA		ANSI/CAMI	
Grit Number	Size (µm)	Grit Number	Size (µm)
P120	125.0	120	116.0
P150	100.0	180	78.0
P220	68.0	220	66.0
P240	58.5	...	...
P280	52.2	240	51.8
P320	46.2	...	...
P360	40.5	280	42.3
P400	35.0	320	34.3
P500	30.2	...	...
P600	25.8	360	27.3
P800	21.8	400	22.1
P1000	18.3	500	18.2
P1200	15.3	600	14.5
P1500	12.6	800	11.5
P2000	10.3	1000	9.5
P2500	8.4	1500	8.0
P4000 ^A	5.0	...	...

^A Not found in the FEPA grading system.

ANSI—American National Standards Institute

CAMI—Coated Abrasives Manufacturers Institute

FEPA—European Federation of Abrasive Producers

11.2.3.4 Level the mount surface.

11.2.4 In fine grinding, damage to the specimen incurred from the planar or rough grinding step must be removed. The specimen is either ground on successively finer abrasive papers (using water to wash away grinding debris and to act as a coolant) or on a rigid disc or cloth charged with a suitable abrasive.

11.2.5 After all grinding is done, the specimen must be cleaned thoroughly. Ultrasonic cleaning in a water/soap solution containing a corrosion inhibitor may prove beneficial.

11.3 *Polishing*—Polishing is usually distinguished from grinding by the use of loose abrasive (≤6µm) embedded in an appropriately lubricated supporting surface. The choice of abrasive, lubricant, and polishing surface support is often specific to the metal and the object of the investigation. Polishing can be divided into rough and fine (final) stages.

11.3.1 Rough polishing is often sufficient for routine evaluations like microindentation hardness and grain size.

11.3.2 When fine polishing is required, it may be performed with diamond or an oxide slurry step or both. The choice of final polishing abrasive type and size is dictated by the hardness of the specimen. For instance, a 1µm diamond final polish is often sufficient for many grades of steel, however, softer steels and non-ferrous materials often require an additional polishing step with an oxide slurry or suspension of SiO₂ or Al₂O₃. Final polishing cloths are generally softer and higher in nap than rough polishing cloths. Therefore, polishing time and force must be kept to a minimum to avoid artifacts such as

edge rounding and relief.

11.3.3 Careful cleaning of the specimen between stages is mandatory to prevent contamination by coarser abrasive. Ultrasonic cleaning may be effective.

11.3.4 The polishing operations may be conducted by manual or by automated methods (preferred).

Manual (Hand-held) Methods

11.4 When grinding manually, the specimen should be moved back and forth across the paper to allow for even wear. Between grinding steps, the specimen should be rotated 45-90°. At the end of grinding on each paper, the surface of the specimen and its mount, if any, should be flat with one set of unidirectional grinding scratches.

11.5 Manual polishing methods consist of holding the specimen by hand against an abrasive-charged rotating wheel and moving the specimen in a circular path around the wheel against the direction of rotation of the wheel. The specimen should be held firmly in contact with the wheel.

11.6 The amount of force applied along with the rate of movement of the specimen during grinding and polishing is a matter of personal preference and experience. In the preparation of difficult materials such as thermally sprayed coatings or composites, the operating parameters must be strictly controlled.

11.7 A traditional manual preparation sequence consists of a series of grinding and polishing steps and may be similar to those listed in Table 5.

Automated Methods

11.8 Many styles of automated specimen preparation machinery are available. Most units can perform grinding and polishing steps. Many use holders capable of accommodating multiple specimens. Major advantages of automated grinding and polishing procedures are the consistent quality of specimen preparation and the substantial decrease in time. Therefore, automated techniques are recommended over manual techniques.

11.9 Most of the devices for automated grinding and polishing move the specimen around a rotating wheel covered

with abrasive so that the specimen follows an epicycloid path. In some devices, the specimen rotates on its own axis as well. The resulting scratch pattern now consists of randomly oriented arcs. Deciding when the previous scratches have been removed is more difficult than with directional (manual) grinding. The specimen surface should show uniform scratches before proceeding to the next step. Cleaning between stages is required to prevent carryover of abrasives and contamination of subsequent preparation surfaces.

11.10 Table 5 illustrates a traditional automated preparation method. This method uses conventional SiC papers for grinding and is suitable for all but the hardest of materials. Tables 6 and 7 are preparation methods that utilize rigid grinding discs or cloths for fine grinding. The method in Table 6 has been shown to be effective for the preparation of materials harder than HRC45. The method in Table 7 may be used for the preparation of materials softer than HRC45. These procedures may produce excellent results outside of the recommended hardness ranges.

12. Special Procedures

12.1 Occasionally, the metallographer is faced with the preparation of unfamiliar specimens or with special situations. Anticipation of every possible situation is, of course, impossible but some guidance can be offered.

12.1.1 When used properly, electrolytic polishing can produce near deformation-free surfaces but works best on solid solution alloys. Once the operating parameters are set, specimens can be prepared quickly. See Guide E 1558.

12.1.2 Vibratory polishing produces excellent results on many materials. Although slow, a number of specimens can be prepared simultaneously. It is especially advantageous for soft materials.

12.2 *Porous Specimens*—Specimens with continuous or open pores can be vacuum-impregnated (see 9.5) with epoxy. Specimens with closed pores are mounted by a suitable method, ground through the fine grinding stage, cleaned, and dried thoroughly. The surface is then wiped with epoxy mounting compound, usually the same material used to mount the specimen, to seal the pores. After hardening, the last

TABLE 5 Preparation Method 1 (General Use)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15–45	20–30 (5–8)	200–300 ^C	CO ^D
Fine Grinding paper	water	240 (P220) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	320 (P500) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	600 (P1200) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede ^E	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA ^F

^A Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.

^B Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

^C High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

^D Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

^E Optional step.

^F Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

TABLE 6 Preparation Method 2 for Harder Materials ≥ HRC 45 (450 HV)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15–45	20–30 (5–8)	200–300 ^C	CO ^D
Fine Grinding rigid disc	compatible lubricant	6–15µm diamond	180–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3–6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede ^E	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA ^F

^A Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.
^B Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.
^C High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.
^D Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.
^E Optional step.
^F Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

TABLE 7 Preparation Method 3 for Softer Materials ≤ HRC 45 (450 HV)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15–45	20–30 (5–8)	200–300 ^C	CO ^D
Fine Grinding heavy nylon cloth	compatible lubricant	6–15µm diamond	180–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3–6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede ^E	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA ^F

^A Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.
^B Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.
^C High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.
^D Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.
^E Optional step.
^F Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

fine-grinding stage is repeated to remove the excess material, and specimen preparation is continued as usual. The choice of epoxy for impregnation depends on the nature of the specimen. It should be inert toward the specimen.

12.3 *Composite Materials*—Composite materials, particularly hard fibers in a soft matrix or wires in a soft insulation, can be particularly difficult to prepare. The best approach is to first seal or impregnate pores or holes. Then grind carefully, using copious lubrication. The grinding surface must be kept flat and firm. In the polishing stages, the substrate should have no nap and should be fairly hard. Diamond abrasive is recommended. Both will minimize rounding of the hard components. Sometimes, a compromise will have to be made between accepting a few artifacts such as scratches or rounded edges.

12.4 *Coated Materials:*

12.4.1 Coated metals, such as galvanized steel, electroplated metal, enamel ware, and so forth, can be considered a variety of composite materials. They present problems of their own, such as flaking, chipping, and rounding. For example, some coatings are so thin as to be unresolvable on simple cross sections (tinplate). Other problems are the presence of a soft coating on a harder substrate (galvanized steel) or a hard brittle coating on a soft substrate (porcelain enamel on aluminum).

12.4.1.1 The problem of thin coatings can be handled by using a taper mount. In this method, the specimen is mounted so that the plane of polish is at a small angle to the plane of the surface. For example, a tapered plug is inserted in the mounting press with the taper up. A blank tapered mount is prepared. Masking tape is wrapped around the circumference of the mount to make a well on the tapered end. A small amount of epoxy mounting compound is mixed. The specimen, cut to fit inside the well, is wetted with the epoxy and laid on the face of the tapered mount, coated side up. Using a probe, the specimen is pressed down firmly onto the tapered face. The balance of the epoxy compound is added and allowed to harden. The mounted specimen is ground and polished on the epoxy face in the conventional manner exercising care that the plane of polish is perpendicular to the cylindrical axis of the mount. This is easily done with most automatic grinding machines.

12.4.1.2 The problem of soft coatings can be solved by the use of a suitable backup. A piece of spring steel is useful to hold the backup in place, or the backup may be cemented to the specimen. The cement can act as an insulation to minimize galvanic effects. Caution: some cements will dissolve in epoxy mounting compounds. A particularly suitable backup is another piece of the same material, with the coating sandwiched in. Another solution is to add another coating, for example,

electroplate. However, this may introduce undesirable galvanic effects during etching. Galvanic problems may arise also from the interaction of the coating and its substrate. The mounting procedure used must result in excellent adhesion to the coated surface to minimize edge rounding. If edge rounding persists, the polishing time and applied force may have to be decreased.

12.4.1.3 Hard coatings on softer substrates can be mounted with a backup piece or a hard-filled mounting compound. Diamond abrasives on a napless cloth will minimize surface relief during polishing.

12.5 Fragile specimens should be mounted in one of the castable mounting formulations. Vacuum impregnation will ensure filling of holes and cavities (see 9.5). Thin walls can be reinforced by electroless nickel plating, which will alleviate the rounding problem.

12.6 Likewise, friable specimens can be bound together by impregnation with plastic or by electroless nickel plating, or both. Further guidance can be found in texts on preparation of mineralogical specimens.

13. Precision and Bias

13.1 Because use of this practice does not produce numerical results, no statement of precision or bias is possible.

14. Keywords

14.1 alloys; grinding; metallography; metals; mounting; polishing; sectioning; specimen preparation (metallographic)

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. CLEANING SPECIMENS

X1.1 Metallographers frequently need to clean specimens. In some instances, the adherent debris, oxidation, or corrosion product must be collected for analysis, for example, by X-ray diffraction. In other cases, the adherent matter is of no interest, it merely needs to be removed. If the underlying surface is of no interest, the surface can be shot blasted, wire brushed, or ground. However, if the underlying surface is important, for example, a fracture surface, then the cleaning operation must do as little damage as possible. These different aims of the cleaning operation must be kept in mind before formulating the cleaning program.

X1.2 When the adherent material is to be analyzed, a variety of procedures may be applied depending upon whether or not the underlying surface can or cannot be damaged.

X1.2.1 In the case of debris or corrosion product on the surface of a part, a stylus, scalpel, or other sharp object can be used to scrape off or pry off enough material for analysis. This will do some damage to the surface, but it will be localized.

X1.2.2 As an alternative, use cellulose acetate replicating tape to remove surface debris by the extraction replica approach. A number of approaches have been developed and are described in STP 547³ as well as in many textbooks on electron microscopy. Generally, thick (0.127 mm or 0.005 in.) tape is employed. One surface is moistened with acetone and then pressed against the debris-coated surface. After it dries, strip off the tape in the same way as you would remove adhesive tape. The debris will adhere to the tape.

X1.3 When the surface is to be examined, but the adherent debris will not be analyzed, several approaches can be used. Always try the simplest, safest methods first. For example, use

a blast of compressed air to remove any loosely adherent material. A soft camel-hair brush or a soft toothbrush may also be useful for removing loosely adherent matter.

X1.3.1 If the techniques in X1.3 do not suffice, try aqueous solutions, organic solvents, or alcohol with an ultrasonic cleaner. Aqueous solutions (8 g of Alconox per litre of warm water) containing Alconox⁴, a detergent, have been found (1, 2) to be effective. Follow the Alconox bath with rinsing under running water, then dry. Organic solvents, such as acetone, ethyl methyl ketone, toluene, xylene, or alcohol (ethanol is preferable to methanol because of potential health problems with the latter) are also very effective. Before choosing one of these solutions, be sure that it will not adversely affect the material being cleaned. Avoid use of chlorinated organic solvents (such as trichlorethylene or carbon tetrachloride) due to their carcinogenic nature. Repeated replication, as described in X1.2.2, is an effective method for cleaning fractures (3, 4).

X1.3.2 When the procedures in X1.3 and X1.3.1 are unsuccessful, more drastic methods are required. Electrolytic cleaning solutions (Table X1.1), have been found to be quite useful. An inert material (stainless steel, graphite, or platinum, for example) is used as an anode, while the specimen is the cathode in the electrolytic cell. Some of these solutions can generate dangerous fumes, hence they should be used under a hood with care. Endox 214⁵ has been found (1) to be useful for cleaning heavily rusted steel fractures.

X1.3.3 Cathodic cleaning solutions or acid-inhibited baths have also been employed to clean fractures (3, 5). However, as the degree of corrosion or oxidation increases, fracture features will be destroyed to a greater extent and cleaning, while it can

³ "Manual Electron Metallography Techniques," 1973. Available from ASTM Headquarters. Request STP 547.

⁴ Alconox is available from Alconox, Inc., New York, NY 10003. An equivalent can be used.

⁵ Endox 214 is available from Enthone, Inc., West Haven, CT 06516. An equivalent can be used.

TABLE X1.1 Cleaning Solutions for Use When Standard Methods Are Inadequate

6N HCl plus 2 g/L Hexamethylene tetramine ^A	Immerse specimen in solution for 1 to 15 min. Good for steels. Cleaning action can be enhanced by light brushing or by brief (5 s) periods in an ultrasonic cleaner.
3 mL HCl 4 mL 2-Butyne-1, 4 diol inhibitor 50 mL water ^B	Use a fresh solution at room temperature. Use in an ultrasonic cleaner for about 30 s.
49 mL water 49 mL HCl 2 mL Rodine-50 inhibitor ^C	Wash specimen in alcohol for 2 min in an ultrasonic cleaner before and after a 2-min ultrasonic cleaning period with the inhibited acid bath.
6 g sodium cyanide 6 g sodium sulphite 100 mL distilled water ^{DEF}	Electrolytic rust removal solution. Use under a hood with care. Use 100-mA/cm ² current density for up to 15 min.
10 g ammonium citrate 100 mL distilled water ^G	Use solution heated to 30°C (86°F).
70 mL orthophosphoric acid 32 g chromic acid 130 mL water ^H	Recommended for removing oxides from aluminum alloy fractures (some sources claim that only organic solvents should be used).
8 oz endox 214 powder 1000 mL cold water (add small amount of Photo-Flo) ^{I,J}	Use electrolytically at 250-mA/cm ² current density for 1 min with a Pt cathode to remove oxidation products. Wash in an ultrasonic cleaner with the solution for 1 min. Repeat this cycle several times if necessary. Use under a hood.

^A deLeiris, H., et al, "Techniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts that are to be Examined by Electron Microfractography," *Mem. Sci. Rev. Met.*, Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463–472.

^B Dahlberg, E. P., "Techniques for Cleaning Service Failures in Preparation for Scanning Electron Microscope and Microprobe Analysis," *Scanning Electron Microscopy*, 1974, Part IV, pp. 911–918.

^C Brooks, C. E., and Lundin, C. D., "Rust Removal from Steel Fractures—Effect on Fractographic Evaluation," *Microstructural Science*, Vol 3A, Elsevier, NY, 1975, pp. 21–33.

^D deLeiris, H., et al, "Techniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts That Are to be Estimated by Electron Microfractography," *Mem. Sci. Rev. Met.*, Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463–472.

^E Russ, J. C., and Miller, G. A., "Effect of Oxidization on the Electron Fractographic Interpretation of Fractures in Steel," *JISI*, December 1969, pp. 1635–1638.

^F Pickwick, K. M., and Smith, E., "The Effect of Surface Contamination in SEM Fractographic Investigations," *Micron*, Vol 3, No. 2, 1972, pp. 224–237.

^G Interrante, C. G., and Hicho, G. E., "Removal of Iron-Sulfide Deposits from Fracture Surfaces," *ASTM STP 610*, 1976, pp. 349–365.

^H Beachem, C. D., *The Interpretation of Electron Microscope Fractographs*, NRL Report 6360, U.S. Government Printing Office, Jan. 21, 1966.

^I Yuzawich, P. M., and Hughes, C. W., "An Improved Technique for Removal of Oxide Scale from Fractured Surfaces of Ferrous Materials," *Prakt. Met.*, Vol 15, April 1978, pp. 184–195.

^J Goubau, B., and Werner, H., "Microfractographic Investigation of Fracture Surfaces Coated With Magnetite," *Prakt. Met.*, Vol 17, No. 5, May 1980, pp. 209–219.

remove the surface deposits, cannot restore damaged fracture features.

X1.3.4 A number of proprietary rust removal solutions have been developed. These are premixed and used directly out of the container. Two such products are described in Refs 6 and 7.

X1.3.5 Cleaning can also be accomplished by argon-ion

bombardment (6) or by use of a glow-discharge method (7, 8). These methods require specialized equipment.

X2. APPLIED LOAD CONVERSIONS

X2.1 Automated preparation machines commonly display force in either pound-force (lbf) or newtons (N). The ability to convert from one unit to the other may be necessary when trying to interpret a documented procedure.

X2.1.1 To convert from pound-force to newton multiply the pound-force value by 4.5.

X2.1.2 To convert from newton to pound-force multiply the newton value by 0.225.

X2.2 When multiple specimens of equal contact area are held in a holder, the applied force must be divided by the number of specimens in the holder to determine the load per specimen.

X2.2.1 Some automated machines apply force individually to each specimen. In this case it is necessary to divide the force by the contact area to determine the load per specimen.

X2.3 Caution should be taken when using automated machines that display pressure in pound-force per square inch (psi). Typically, the machine is displaying the air pressure within the loading cylinder and not the actual pressure applied to either the specimen holder or individual specimen.

X2.4 When converting from a force to a pressure, the surface area of the specimen(s) must be determined. The value of force is then divided by the contact area to determine the required pressure.

X3. PROCEDURE IMPROVEMENT

X3.1 To improve the preparation of a particular material, try one of the preparation methods described in Table 5, Table 6, or Table 7. Following are general guidelines that may help improve results.

X3.2 If a material is being prepared for the first time, the surface should be microscopically examined after every step.

X3.3 Before proceeding to the next step, be sure that all deformation and artifacts from the previous step, such as scratches, pull-outs or embedded grains, are completely removed. It is difficult to identify when an artifact was introduced if the specimen is not examined prior to the final step. You must know when the artifact was introduced in order to improve the method.

X3.4 Keep the preparation times as short as possible. Excessive preparation wastes consumables and may introduce artifacts such as relief and edge rounding.

X3.5 New consumables such as polishing cloths or diamond grinding products may need to be “broken in” for a short period prior to use.

X3.6 The following section lists common preparation artifacts and prevention measures.

X3.7 *Scratches*—Scratches are grooves in the surface of the specimen produced by the points of abrasive particles.

X3.7.1 Make sure that after planar grinding the surface of all of the specimens in the holder exhibit the same uniform scratch pattern over the entire specimen. Repeat the planar grinding step if necessary.

X3.7.2 Clean the specimens and holder carefully after each step to avoid contamination.

X3.7.3 If there are still scratches left over from the previous step after finishing the current step, increase the preparation time by 25 to 50 %. If this does not work then you should consider altering the method by inserting an intermediate step.

X3.8 *Deformation*—Deformation can be classified by two types, elastic and plastic. Elastic deformation disappears when the applied load is removed. Plastic deformation, often called cold work, can be induced during sectioning, mounting, grinding, lapping or polishing. Residual plastic deformation can first be seen after etching. Only deformation that was introduced during metallographic preparation can be eliminated with procedure modification. Deformation from manufacturing operations such as bending, drawing and stretching are not considered because they cannot be removed by altering the preparation method.

X3.8.1 If the deformation is visible in brightfield in the unetched condition, please see X3.7.3 Scratches, for tips on how to improve the preparation.

X3.8.2 If after etching, the deformation is restricted to single or a few grains then it is minimal and may be removed by repeating the previous step.

X3.8.3 If after etching, the deformation is well defined covering several grains or even the whole specimen, then it may have been recently introduced. Check and clean the polishing cloth for possible contamination. Replace the cloth if results do not improve (see section X.2.1.4). Repeat the previous step.

X3.8.4 If after etching, the deformation is in the form of long, blunt lines covering several grains (with possible interruptions) then it may have been introduced from an earlier stage. Repeat the procedure starting from the fine grinding stage.

X3.9 *Smearing*—Smearing is the flow of material at the surface of the specimen. It is the result of material being “pushed” across the surface instead of being cut.

X3.9.1 Check the amount of lubricant. Smearing most often occurs when lubrication levels are too low. Increase or change the lubricant to eliminate smearing.

X3.9.2 Check the applied load. Excessive loads can result in smearing. Reduce the load to eliminate smearing.

X3.9.3 Check the abrasive size. Abrasives grains that are too small may not be effective in material removal. Increase the abrasive grain size.

X3.10 *Edge Rounding*—Edge rounding results when the edge of the specimen abrades at a greater rate than the body of the specimen.

X3.10.1 Mount the specimen. Unmounted specimens always exhibit greater edge rounding than mounted specimens.

X3.10.2 Use the correct mounting compound. There should be minimal shrinkage of the mounting compound away from the specimen. Try to match the abrasion resistance of the mounting compound closely to that of the specimen. See Section 9.

X3.10.3 If the edge rounding first occurred during grinding, consider changing the grinding substrate to a less resilient form. Also consider changing the abrasive type. Diamond abrasive is often more effective than SiC at cutting hard materials.

X3.10.4 Reduce polishing times as much as possible. Long polishing procedures often result in excessive edge rounding.

X3.10.5 Reduce applied load. Normally lower loads result in less edge rounding.

X3.10.6 Change the polishing lubricant. Oil or water/oil type lubricants may help preserve edges.

X3.10.7 Change the polishing cloth. Less resilient cloths produce better edges.

X3.10.8 If the preceding steps are ineffective then consider plating the specimen. See Section 10.

X3.11 *Relief*—Relief results when material from different phases is removed at different rates due to varying hardness or wear rate of individual phases.

X3.11.1 Relief normally first occurs during polishing. However, if there are extreme differences in the hardness between phases it may occur during grinding. If this is the case then an

alternative grinding method should be considered. See Tables 5 and 6.

X3.11.2 Polishing time should be kept to a minimum.

X3.11.3 Polishing cloths that have less resiliency produce less relief (see Edge Rounding in X3.10).

X3.11.4 The polishing abrasive should be at least 2.5 times harder (on the Vickers scale) than the hardest phase being polished.

X3.12 *Pull-outs*—Pullouts are the cavities left in the surface after grains or particles are torn out during preparation.

X3.12.1 Avoid high loads during grinding and polishing.

X3.12.2 Do not use coarse abrasives for Planar or Fine grinding steps.

X3.12.3 Do not make large abrasive size jumps between preparation steps. Insert an intermediate step if necessary.

X3.12.4 Napless polishing cloths produce less pull-out than napped cloths.

X3.12.5 Every step has to remove the damage from the previous step, and has to introduce as little damage as possible.

X3.12.6 Check the specimen after every step in order to find out when the pull-out occurs.

X3.13 *Gaps*—Gaps are the voids between the mounting compound and the specimen. Gaps can result in a variety of preparation artifacts such as edge rounding, contamination and staining.

X3.13.1 Clean and dry the specimen thoroughly prior to mounting.

X3.13.2 Select a mounting compound with low shrinkage (see Section 9).

X3.13.3 For hot compression mounting, cool the specimen under pressure.

X3.13.4 For castable mounting compounds, avoid high curing temperatures. It may be necessary to cool the specimen during the curing.

X3.13.5 Specimen height should be kept as low as practical to minimize gaps when using hot compression mounting.

X3.14 *Contamination*—Contamination is material from a source other than the specimen itself which is deposited on the specimen surface during grinding or polishing.

X3.14.1 Thoroughly clean the specimen between preparation steps (see 11.2.5, 11.3.3).

X3.14.2 Store grinding and polishing discs in a clean, dust-free environment.

X3.14.3 Change grinding or polishing substrate/abrasive if necessary.

X3.15 *Embedded Abrasive*—Embedded abrasive results when loose grinding, lapping, or polishing abrasive sticks into the surface of the specimen.

X3.15.1 Embedded abrasive is most common with soft non-ferrous materials.

X3.15.2 Change to a more resilient grinding substrate.

X3.15.3 Use a block of paraffin or candle to “pick up” loose SiC particles on fine grit papers. This is done by lightly passing the paraffin block across the paper.

X3.15.4 Change to a more resilient polishing substrate when using diamond abrasives that are less than 3 μ m in diameter.

X3.15.5 Change to an oil or water/oil-based polishing lubricant.

X3.16 *Lapping Tracks*—Lapping tracks are indentations on the specimen surface made by abrasive particles moving freely (rolling) on a hard surface. Lapping tracks can be produced during both grinding and polishing.

X3.16.1 Change to a more resilient grinding or polishing substrate.

X3.16.2 Increase the applied load in 10 % increments until the lapping tracks disappear.

X3.16.3 Employ optimal dynamics.

REFERENCES

- (1) Yuzawich, P. M., and Hughes, C. W., “An Improved Technique for Removal of Oxide Scale from Fractured Surfaces of Ferrous Materials,” *Practical Metallography*, Vol 15, April 1978, pp. 184–195.
- (2) Zipp, R. D., “Preservation and Cleaning of Fracture for Fractography,” *Scanning Electron Microscopy*, Part I, 1979, pp. 355–362.
- (3) Russ, J. C., and Miller, G. A., “Effect of Oxidation on the Electron Fractographic Interpretation of Fractures in Steel,” *Journal, Iron and Steel Institute*, Vol 207, December 1969, pp. 1635–1638.
- (4) Pickwick, K. M., and Smith, E., “The Effect of Surface Contamination in SEM Fractographic Investigations,” *Micron*, Vol 3, No. 2, 1972, pp. 224–237.
- (5) Lane, G. S., and Ellis, J., “The Examination of Corroded Fracture Surfaces in the Scanning Electron Microscope,” *Corrosion Science*, Vol 11, September 1971, pp. 661–663.
- (6) Macmillan, J. W., and Flewitt, P. E. J., “Assessment of Methods for Cleaning Oxide from Fracture Surfaces for Examination in a Scanning Electron Microscope,” *Micron*, Vol 6, No. 3/4, 1975, pp. 141–146.
- (7) ASTM Task Group E24.02, “Clean Surfaces for Fractography,” ASTM STP 600, ASTM, Philadelphia, PA, 1976, pp. 251–253.
- (8) Hajicek, D. J., et al, “Development of a Cleaning Method for SEM Fractographic Analysis of Impulsively Loaded Cylinders,” *Microstructural Science*, Vol 5, Elsevier, NY, 1977, pp. 413–421.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



<http://manuals-and-standards.blogspot.com>

Ácido nítrico (nital)	Ácido nítrico blanco: 1-5 ml Alcohol metílico o etílico (98% o absoluto) (También alcohol amílico): 100 ml	En aceros al carbón: a) para oscurecer perlita y dar contraste entre colonias de perlita, b) para revelar fronteras de perlita, c) para diferenciar la ferrita de la martensita.	La rapidez de ataque aumenta; la selectividad disminuye y se incrementan los porcentajes de HNO ₃ . El reactivo 2 (ácido pícrico) generalmente es superior. El tiempo de ataque es de unos cuantos segundos a un minuto.
Ácido pícrico (picral)	Ácido pícrico: 4 g etil o alcohol de metilo (95% o absoluto): 100 ml	Para todos los grados de aceros al carbón recocidos, templados y revenidos, normalizados, esferoidizados, austenizados. Para todos los aceros de baja aleación atacados por este reactivo.	Ocasionalmente útiles para soluciones más diluidas. No revela las fronteras de grano de ferrita tan fácilmente como el nital. Tiempo de ataque de unos cuantos segundos a un minuto o más.
Cloruro férrico y ácido hidroclicó	Cloruro férrico: 5 g Ácido hidroclicó: 50 ml Agua: 100 ml	Aceros austeníticos al níquel y aceros inoxidable.	
Hidróxido de amonio y peróxido de hidrógeno	Hidróxido de amonio: 5 partes Peróxido de hidrógeno: 2-5 partes	Generalmente empleado para cobre y muchas de sus aleaciones.	El contenido de peróxido varía directamente con el contenido de cobre de la aleación que será atacada. Inmersión o frotamiento por casi un minuto. Usar peróxido fresco para buenos resultados.
Persulfato de amonio	Persulfato de amonio: 10 mg Agua 90 mg	Cobre, latón, bronce, plata, níquel, bronce aluminico.	Utilizarlo frío o hirviendo; inmersión.
Reactivo de Palmerton	Oxido crómico: 200 g Sulfato de sodio: 15 g Agua: 1000 ml	Reactivo general para zinc y sus aleaciones.	Inmersión con agitación moderada.
Molibdato de amonio	Ácido molibdicó(85%): 100 g Hidróxido de amonio (gr. esp. 09): 140 ml Agua: 240 ml Filtrar y añadir al ácido nítrico (gr. esp. 1.32): 60 ml	Ataque rápido para plomo y sus aleaciones; muy apropiado para remover la capa gruesa de metal trabajado.	Frotar la muestra y lavar bajo chorro de agua de manera alternada.
Ácido hidroflicó	Ácido hidroflicó: 0.5 ml (conc) H ₂ O: 99.5 ml	Examen microscópico general para aluminio y sus aleaciones.	Frotar con algodón suave por 15 s.

* De "Metals Handbook", 1948, American Society for Metals, Metals Park, Ohio.



ANEXO 7
**MEDIOS DE ENFRIAMIENTO PARA EL
TEMPLE**

Medios de enfriamiento para el temple

N. Caballero Stevens , G. M. Figueroa Cuervo

Unidad Docente Metalúrgica (UDM) Antillana de Acero - ISPJAE

Calle20 # 10522 Cotorro, C. Habana, Cuba.

(Recibido el 12 de abril de 1999; aceptado el 3 de junio de 1999)

Resumen

Los factores que rigen el proceso de temple son la temperatura, el tiempo de calentamiento y la velocidad de enfriamiento. Tradicionalmente, la variación de la velocidad de enfriamiento se ha logrado mediante la utilización de diferentes medios como el agua, aceites minerales, aceites orgánicos, metales fundidos y otros.

En este trabajo, se presentan las características fundamentales de los medios convencionales y actuales empleados para el enfriamiento durante el temple.

Palabras claves: Endurecimiento superficial, temple superficial, medios de enfriamiento.

1. Introducción

Los factores que rigen el proceso de temple son la temperatura, el tiempo de calentamiento y la velocidad de enfriamiento.

La velocidad real de enfriamiento obtenida en el temple determina la estructura resultante del tratamiento térmico y los valores de dureza y resistencia alcanzados.

Al enfriar el material a una velocidad superior a la crítica de temple, la austenita se transforma en martensita. En cambio, si la velocidad es inferior no se logrará obtener una estructura totalmente martensítica.

La velocidad de enfriamiento real de un acero para determinada temperatura se puede determinar experimentalmente. Para ello, después de conocida la curva de enfriamiento se le traza una tangente en el punto correspondiente a dicha temperatura midiéndose su pendiente.

En la velocidad real de enfriamiento influyen el medio de temple utilizado, su temperatura y el estado superficial, la forma y tamaño de las piezas a templar.

De los aspectos mencionados, uno de los más importantes es el referido a los medios de temple que constituyen el tema central de este trabajo.

2. Generalidades de los medios de temple

Como el medio ideal de enfriamiento no existe, se han empleado tradicionalmente numerosos productos

enfriantes en cuyo poder templante influyen entre otros los factores siguientes:

La temperatura inicial del baño si su valor es alto se prolonga mucho la primera etapa del enfriamiento.

La temperatura de ebullición. Si la magnitud es baja, el enfriamiento será más lento pues se desprenderá mucho vapor.

El calor específico. Debe ser elevado para que sea alta la velocidad de enfriamiento al elevarse poco la temperatura del baño.

Los medios templantes han evolucionado mucho en la medida en que se desarrolla la ciencia y la técnica. Los tradicionales son el agua, el aceite, las sales y el aire. Sus capacidades de enfriamiento se muestran en la tabla 1 en la que se toma como unidad la del agua a 20°C.

La efectividad de un medio se puede comprobar, por ejemplo, al templar una pieza cilíndrica de acero y analizar su influencia en la estructura de la superficie y el centro.

En el temple en agua cuando la zona exterior de la pieza se ha transformado en martensita, en la zona interna no se ha iniciado todavía la transformación. El retraso es notable y así surgen tensiones internas fuertes con peligro de deformación o rotura. Generalmente es utilizado en aceros al carbono. Enfría con alta velocidad crítica de temple siendo inconveniente en la zona de transformación martensítica.

En el temple en aceite cuando en el exterior se completa la formación de martensita, en el interior se ha iniciado ya dicha transformación. El retraso es menor en el caso anterior y por lo tanto las tensiones internas también lo serán con menos peligro de deformaciones. Este medio

Tabla 1. Capacidad de enfriamiento relativa de algunos medios de temple.

Medio		Capacidad de Enfriamiento Relativa		
		20°C	60°C	99°C
Agua	Tranquilo	1	0.44	0.07
	Circulante	1.01	0.46	0.08
Agua + 5 % NaCl	Tranquilo	1.12	0.62	-
	Circulante	1.14	0.72	0.14
Agua + 10 % NaCl	Circulante	1.23	-	-
	De transformador	0.17	Aumenta	-
Agua + 5 % NaOH	Tranquilo	1.17	0.78	-
	Circulante	1.20	0.90	-
Agua + 10 % NaOH	Circulante	1.40	-	-
Aceite	De máquina	0.21	Aumenta	-
	De algodón	0.30	Aumenta	-
Pb 335° C	Tranquilo	0.5	-	-
Aire	Tranquilo	0.03	-	-

.tiene la ventaja de que es casi insensible al cambio de temperatura por lo que el temple se realiza del mismo modo a cualquier temperatura.

Durante el temple en sales la temperatura se distribuye uniformemente en la pieza con lo que tanto la parte exterior como la interior pasan por el intervalo martensítico casi al mismo tiempo. De este modo las tensiones internas se reducen al mínimo.

Cuando el temple es al aire, la velocidad de enfriamiento es muy pequeña y la temperatura interior y exterior tienden a equilibrarse.

Los medios de enfriamiento altamente activos permiten de una forma más efectiva obtener una estructura homogénea, un temple más completo y mejores propiedades mecánicas. En ellos, se templen sólo los aceros al carbono.

Todos los aceros aleados, como regla, se templen en aceite o al aire y sólo en casos especiales en agua, ya que el temple de éstos en este medio conduce a la aparición de grietas y deformaciones.

Para obtener en el temple de los aceros, los mejores resultados conviene utilizar el medio de enfriamiento menos energético que sea capaz de comunicar al acero una velocidad de enfriamiento superior a la crítica. De este modo se consigue una estructura totalmente martensítica, la máxima dureza compatible con su composición y se evitan en lo posible las grietas y deformaciones.

3. Medios de enfriamiento más comunes empleados en el temple de los aceros

Agua

Debe evitarse que el agua se caliente durante el temple, debido a que puede prolongarse la primera etapa del

enfriamiento. El agua enfría muy rápidamente la superficie, con lo que se forma una corteza muy dura y se crean tensiones interna peligrosas que pueden deformar o romper las piezas.

Soluciones salinas

Añadiendo al agua una determinada cantidad de sales de temple, el enfriamiento es más rápido y por lo tanto más energético, debido no solo al mayor calor específico de las soluciones respecto al agua pura, sino también porque debido a la evaporación, las soluciones salinas cristalizan y sus cristales, dada las altas temperaturas estallan rompiendo el velo de vapor que circunda la pieza.

Aceites

Los aceites animales y vegetales con el uso continuo a determinada temperatura se descomponen, espesan y se vuelven gomosos dando temples bastante irregulares. Además son caros y de olor desagradable. Los mejores aceites para el temple son los minerales obtenidos por destilación fraccionada del petróleo.

El aceite caliente tiene más poder refrigerante (30 - 40 °C) que el frío, por ser más fluido. Este tipo de temple produce deformaciones y tensiones internas notablemente inferiores a los del agua y soluciones salinas. Un buen aceite de temple debe poseer las propiedades siguientes:

Volatilidad no muy elevada.

Temperatura de inflamación y combustión lo más elevada posible.

Gran resistencia a la oxidación.

Plomo

Posee gran conductividad térmica por lo cual el calentamiento del baño se hace bastante rápido. Enfría con relativa rapidez las piezas que se templen, su aumento

del peso específico es inconveniente pues las piezas flotan y hay que preparar dispositivos especiales para que se introduzcan en el baño. Como el plomo se oxida fácilmente hay que evitar que la superficie del baño se encuentre en contacto con la atmósfera cubriéndolo con pequeños trozos de carbón vegetal.

Los baños de plomo se emplean raras veces. Contienen frecuentemente azufre cuando están sucios y es necesario por esta razón fundirlos. El plomo es bastante volátil a las temperaturas requeridas para tratamiento térmico.

El plomo puede adherirse tenazmente a piezas que contengan dientes o ranuras pequeñas e impide que se endurezcan estos lugares con el temple. Por esta razón es necesario desengrasarlas con mucho cuidado.

El empleo del plomo es cada vez más limitado frente a los baños de sales debido a la toxicidad de sus vapores, independientemente de que no forme cascarilla y su enfriamiento sea mucho más estable que los baños de sales.

Gases

Para muchos aceros basta enfriar al aire tranquilo para que se forme martensita. Aunque este tipo de enfriamiento es el que provoca menos distorsiones, también como contrapartida produce cierta oxidación superficial.

En lugar de aire pueden usarse gases protectores o inertes. Ejemplo Amoniaco craquizado o el gas de ciudad quemado. Utilizando estos gases en los hornos y como medios de temple, se obtienen piezas templadas brillantes.

Sales fundidas

Están constituidas por cantidades variables de sodio, potasio, bario, etc, en forma de cianuros y sus componentes.

Son utilizados como medios de enfriamiento y sustituyen con ventaja al aceite y al plomo fundido.

Las sales se emplean en un intervalo de temperaturas entre 150 - 600°C. Se utilizan para enfriar las piezas durante el temple y para calentar durante el revenido. Algunos se utilizan para el calentamiento y fundamentalmente para el tratamiento termoquímico.

Las sales fundidas presentan muy alta temperatura de transición. Con respecto a la severidad de temple, se comportan muy semejante al aceite pudiendo considerarse los efectos equivalentes. La agitación aumenta la severidad de temple por la difusión del calor.

4. Otros medios de enfriamiento para el temple

Además de los medios convencionales, en la actualidad se emplean diversos medios y procedimientos que se encaminan a lograr mejores propiedades mecánicas y disminuir las tensiones causantes de deformaciones en las

piezas templadas. Algunos de esos medios se señalan a continuación:

- Enfriamiento en aceite burbujeante al cual se le adiciona hielo seco en cantidades que fluctúan de 30 a 100 g/m³. (ver tabla 2).
- Enfriamiento mediante ducha de agua que concluye con aire a presión.
- Medio de temple que contiene CaCl₂, polvo de arcilla, sosa cáustica y agua. Su empleo evita la formación de fisuras en aceros al carbono y aleados debido a que reduce la velocidad de enfriamiento en el intervalo de la transformación martensítica.
- Soluciones acuosas con polímeros de oxazolona.

Con el desarrollo de las investigaciones en esta temática, se han incrementado los registros de patentes en diferentes países. Una búsqueda minuciosa ha permitido encontrar los siguientes:

En España, los registros de patentes están encaminados principalmente al empleo de soluciones acuosas de diferentes compuestos orgánicos y de enfriamiento en metales fundidos. Las soluciones acuosas registradas son las siguientes:

- Con éter de polioxialcohilenglicol y aditivo anticorrosivo con alcanolaminas y agua.
- Con polialgohilenglicol con inhibidor que contiene ácido carboxílico, alcanolamina y triazol aromático.
- Con polivinilpirrolidona.
- Con éter de polioxialquilenglicol y bórax.
- Con polímero orgánico hidrosoluble, aditivo de sal mineral y de un ácido mineral y orgánico.

Todas estas soluciones acuosas se recomiendan para el temple de aceros al carbono y de baja aleación.

La solución acuosa de polivinilpirrolidona se recomienda para el enfriamiento de aleaciones de aluminio.

Los Países Europeos han encaminado su búsqueda de medios de enfriamiento al uso de las siguientes:

- Solución de aceite con monoalkylnaptaleno
- Solución de aceite mineral y polímero.
- Solución de agua con polyoxazolona y polímero de N vinyl heterocíclico.
- Solución de agua con polyaklylenoglycol, inhibidor de ácido carboxílico y alkanolamina
- Solución de agua con trialkylphosphates.
- Solución de agua con CO₂.
- Solución de agua con ácido carboxílico.
- También se ha desarrollado:
- Concentrado Aquaplast soluble en agua. Permite obtener diferentes velocidades de enfriamiento.
- Empleo de cama fluida (de fluidización) que consiste en la agitación intensa de partículas sólidas (corindón, arena mineral, polvo metálico) por un flujo de gas ascendente. En este caso, se forma una capa o cama que asemeja un líquido viscoso donde la velocidad de enfriamiento puede regularse.

En los Estados Unidos, las investigaciones se dirigen al desarrollo de soluciones acuosas con diferentes compuestos orgánicos como son:

- Agua con polímero de oxazolína.^o
- Solución de agua con polyoxazolína y polímero de N vinyl heterocíclico
- Solución de agua con glicol polialkileno, inhibidor compuesto por ácido carboxílico, alcanolamina y diethanol methylene benzotriazole.

Tabla 2. Efecto de la adición de hielo seco en la acción del aceite como medio enfriador

N/o.	Cantidad de hielo seco adicionado al aceite (g/m ³)	Tiempo de burbujeo del aceite (min)	Concentración del CO ₂ en la superficie del aceite con respecto al aire (%)	concentración del de CO ₂ a la distancia de 50 mm del aceite con respecto al aire (%)	Presencia de llama en la superficie del aceite cuando se introducen piezas calientes.
1	0	0	0	0	Se observa llama.
2	10	2	8	1	La llama se atenúa.
3	30	4	32	18	No
4	40	7	53	33	No
5	60	12	67	42	No
6	100	15	87	58	No

5. Conclusiones

Para obtener los resultados esperados después del temple, es imprescindible que se emplee un medio de enfriamiento adecuado. además del agua, aceites, sales y metales fundidos, la tendencia mundial actual es la de emplear soluciones acuosas con diferentes compuestos orgánicos, soluciones de aceites con diferentes aditivos y también emplear procedimientos de temple mas eficaces mediante modificaciones a los métodos comúnmente empleados.

Bibliografía

1. Jorochailov V., Gordon Cointra J., Teoría y Tecnología del Tratamiento Superficial del Acero. 302 p. 1972.
2. Lucas Ortueta, Ramón y otros. Metalurgia, DuMond. Madrid. 1963
3. Apraiz Barreiro, J. tratamiento térmico de los Aceros.
4. Malishev A, Nikolaiev G, Shervalov Y. Tecnología de los metales. Editorial Mir. Moscú.
5. Tratamiento Térmico de metales Manuales de trabajo de taller mecánico. Editorial Reverté, 1960.
6. Lasheras Eteba, J. Ma. Tecnología de los materiales. 3ra edición .Viladrau Ediciones Cendel. España, 1965.
7. De Andrés Sauz, M. Tratamiento Térmico. Diagrama Fe-C y los fundamentos de los tratamientos térmicos del acero. Colección de Estudios Técnicos. Madrid. 1962.
8. Lurchesi D. Tratamiento Térmico Editorial Labor . 116 p. Barcelona, 1973.
9. Zirna, N. Tratamiento Térmico. 2da Edición. Barcelona, 1965.
10. Caballero Stevens N. Datos Prácticos sobre el Tratamiento Térmico de los Aceros. Monografía, 1990.

Means for Cooling During the Hardening Process

Abstract

Factors governing of the hardening process are temperature, heating time and cooling speed. Traditionally, the variation of the cooling time has been achieved by using different means such as water, mineral oils, molten metals, etc.

In this work, the fundamental characteristics of the conventional and modern means developed for cooling during the hardening process are presented.

Key words: Hardening process, cooling means.

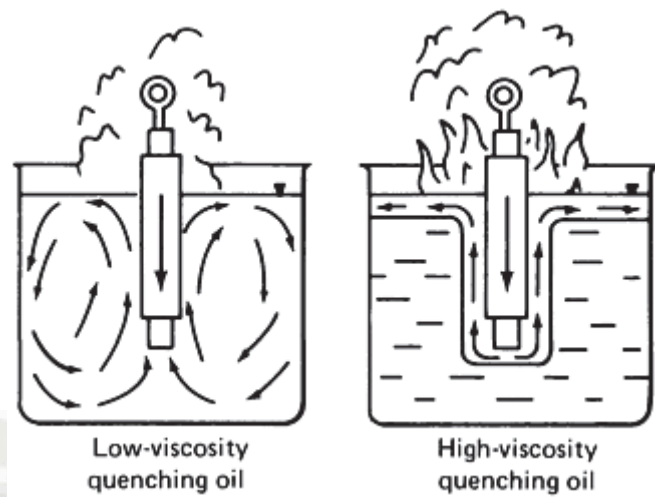


Fig. 54 Advantage of low-viscosity quenching oil over high-viscosity oil. See text for discussion.

Quenching oils with comparatively high viscosities (for example, cold oils) do not distribute heat as rapidly. Instead, a comparatively thin layer of oil is heated at the part surface, and the oil gets hotter as it rises through the load. The oil can reach the air-oil interface at a temperature in excess of its auto ignition temperature and cause an immediate fire.

In one test, two similar parts, each weighing 80 kg (175 lb) and at a temperature of about 870 °C (1600 °F), were partially immersed in separate baths containing 180 kg (395 lb) of oil at 20 °C (70 °F) with no circulation. One oil had a flash point of 205 °C (400 °F) with a viscosity of 120 SUS at 50 °C (120 °F), and the oil ignited immediately. The second tank contained oil with a lower flash point of 120 °C (250 °F), but the oil had a lower viscosity of 46 SUS at 50 °C (120 °F) and it took 20 s to ignite.

Two precepts are apparent from these test results. First, cold viscous oils should be preheated to decrease their viscosities, and second, higher-flash-point oils are preferred. Typical conventional or fast quenching oils have minimum flash points of 125 °C (260 °F) and average flash points of 175 °C (350 °F).

Martempering oils are designed for use at higher temperatures. The typical use temperature ranges for commercially available martempering oils are given in Table 16.

Table 16 Typical bath temperatures for commercially available martempering oils

Viscosity at 40 °C (100 °F), SUS ^(a)	Flash point ^(b)		Temperature range			
			In open air		Under protective atmosphere	
	°C	°F	°C	°F	°C	°F
250-550	220	430	95-150	205-300	95-175	205-345
700-1500	250	480	120-175	250-345	120-205	250-400

(a) SUS. Saybolt universal seconds.

(b) Minimum

Martempering oils, when covered by an inert, neutral, or reducing atmosphere in an integral quench furnace are largely protected from oxidation by air. Thus, they may be used at higher temperatures and closer to their flash points than similar oils used in open air.

The dragout loss of a quenching oil depends mainly on its viscosity, which is dependent on its temperature. Because oils of higher viscosities are usually used at higher temperatures, the actual viscosities and dragout losses of different quenching oils do not vary significantly. Table 17 shows the viscosities of a conventional, a fast, and two martempering oils as a function of the temperature.

Table 17 Viscosity of a conventional oil, a fast oil, and two selected martempering oils as a function of temperature

Oil temperature		Oil viscosity, SUS ^(a)			
		Conventional	Fast	Martempering	
°C	°F			Oil no. 1	Oil no. 2
40	105	100	95	720	2630
65	150	55	60	190	555
95	205	40	40	85	180
120	250	35	35	55	90
150	300	30	35	45	60
175	345	...	...	40	45
205	400	...	...	35	40

(a) SUS, Saybolt universal seconds

Quench loads in relation to the oil volume determine the temperature rise in the quenching oil, but uniform hardening usually can be maintained despite moderate temperature increases. However, the danger of fire must be considered when the oil temperatures approach the flash point. Parts with high ratio of surface area to volume increase the fire hazard because they transfer heat more rapidly to the oil. As a consequence, parts with a high surface to volume ratio require

Mobilube HD 80W-90, 85W-140

Aceites de alto rendimiento para engranajes de vehículos comerciales

Descripción de producto

Mobilube HD 80W-90 y 85W-140 son lubricantes para engranajes de vehículos comerciales formulados a partir de aceites base de alto rendimiento y un avanzado sistema de aditivos. Estos lubricantes están diseñados para ejes y mandos finales de servicio pesado donde se esperan presiones extremas y cargas de choque. Proporcionan un excelente rendimiento a aquellas aplicaciones que requieren un nivel API GL-5.

Propiedades y Beneficios

Las aplicaciones de servicio pesado actuales requieren cada vez mayores rendimientos de los lubricantes. Mayores velocidades, mayor par y mayores cargas requieren formulaciones más avanzadas para maximizar la vida del equipo y optimizar los costos de operación. Además los mayores intervalos de servicio exigen requerimientos adicionales a los lubricantes de engranajes a través de aceites base efectivos y sistemas de aditivos. La serie Mobilube HD está diseñado para cumplir con estos retos. Los principales beneficios incluyen:

Propiedades	Ventajas y Beneficios potenciales
Excepcional estabilidad térmica y resistencia frente a la oxidación a altas temperaturas	Mayor vida de los engranajes y de los cojinetes gracias a una menor formación de depósitos Juntas más duraderas
Insuperable protección contra el desgaste en condiciones de operación de baja velocidad/alto par y contra el rayado a altas velocidades	Mayor capacidad para soportar cargas Reducción de los costos de mantenimiento y vidas más largas de los equipos
Excelente protección contra la corrosión y la herrumbre	Mayor vida de los componentes y reducción del desgaste
Efectiva lubricación a bajas temperaturas	Menor desgaste en el arranque y mayor facilidad de arranque
Compatible con los típicos materiales de juntas de automoción	Mínimas pérdidas y reducción de la contaminación
Amplio rango de aplicación	Reducción del número de referencias de aceites de engranajes

Aplicaciones

- Ejes y mandos finales de servicio pesado que requieren un nivel de rendimiento API GL-5
- Camiones de carga ligera y carga pesada y vehículos comerciales
- Maquinaria de industria: construcción, extracción, minería y agricultura
- Otras aplicaciones de servicio pesado y de automoción que poseen engranajes de tipo hipoide operando en condiciones de alta velocidad/carga de choque, alta velocidad/bajo par y/o baja velocidad/alto par

Especificaciones y Aprobaciones

Mobilube HD cumple o excede las siguientes especificaciones:	80W-90	85W-140
API GL-5	X	X

ExxonMobil Lubricantes & Especialidades

Es posible que no todos los productos estén disponibles en su localidad. Para mayor información, ponerse en contacto con la oficina de venta local o dirigirse a www.exxonmobil.com.

Exxon Mobil se compone de numerosas filiales y empresas asociadas, muchas de las cuales tienen nombres que incluyen el de Esso, Mobil y ExxonMobil. Nada de lo que figura en este documento está destinado a anular o reemplazar la separación corporativa que existe entre las entidades locales. La responsabilidad de las acciones a nivel local, y la obligación de responder de ellas, seguirán recayendo en las entidades afiliadas a Exxon Mobil. Debido a la continua actividad de investigación y desarrollo de productos, esta información está sujeta a modificaciones sin previo aviso. Las propiedades típicas pueden sufrir ligeras variaciones.

© 2001 Exxon Mobil Corporation. Todos los derechos reservados.



Características típicas

Mobilube HD Características

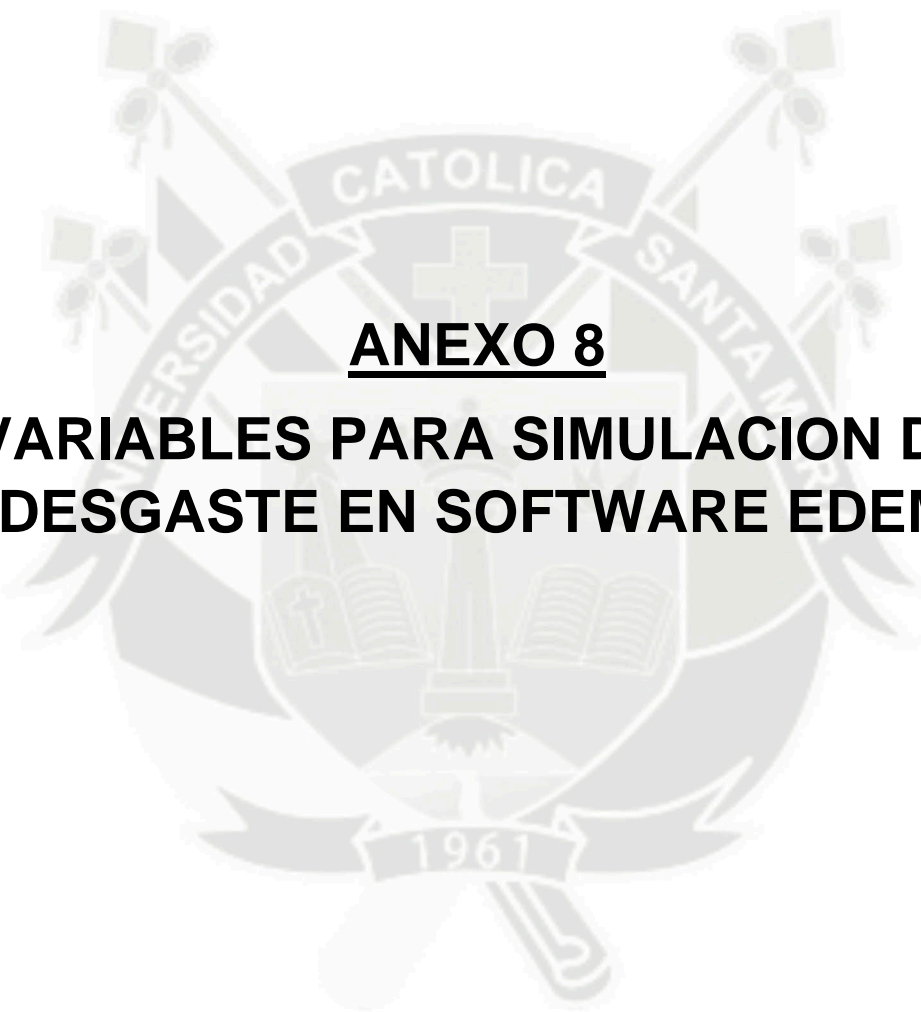
Grado SAE	80W-90	85W-140
Viscosidad, ASTM D 445		
cSt @ 40°C	136	328
cSt @ 100°C	14.5	25.3
Índice de viscosidad, ASTM D 2270	105	97
Punto de congelación, °C, ASTM D 97	-30	-18
Punto de evaporación, °C, ASTM D 92	202	224
Densidad @ 15°C kg/l, ASTM D 4052	0.897	0.905

Seguridad e Higiene

Basado en información disponible, no es de esperar que este producto cause efectos adversos en la salud mientras se utilice en las aplicaciones a las que está destinado y se sigan las recomendaciones de la Ficha de Datos de Seguridad (FDS). Las Fichas de Datos de Seguridad están disponibles a través del Centro de Atención al Cliente. Este producto no debe utilizarse para otros propósitos distintos a los recomendados. Al deshacerse del producto usado, tenga cuidado para así proteger el medio ambiente.

El logotipo Mobil y el diseño del Pegasus son marcas registradas por Exxon Mobil Corporation, o una de sus afiliadas





ANEXO 8
**VARIABLES PARA SIMULACION DE
DESGASTE EN SOFTWARE EDEM**

Wear modelling: analytical, computational and mapping: a continuum mechanics approach

J.A. Williams *

Cambridge University Engineering Department, Trumpington Street, Cambridge, CB2 1PZ, UK

Abstract

As a result of its widespread and pervasive economic consequences wear, the almost inevitable companion of friction, has been the subject of much scientific and empirical investigation; the literature is rich with ‘wear equations’ so that, on occasion, the practitioner can seem to have too much information rather than too little. Some guidance and reconciliation between analytical and computational models and empirical observations can be provided by plotting wear maps for specific materials so that the dominant wear mechanism for particular operating conditions can be established and some indication provided on probable wear performance. A challenge facing the research community is the production of a sound theoretical framework to underpin such design aids. However, because of the variety and complexity of the surface conditions it is not straightforward to relate tribological performance to more easily established material parameters. These difficulties are illustrated by looking at the models available for two particular classes of wear involving metallic materials—severe abrasive wear, when surface life is likely to be short, and lubricated mild wear when very much longer component histories can be anticipated. © 1999 Published by Elsevier Science S.A. All rights reserved.

Keywords: Wear; Modelling; Mapping; Abrasion; Severe wear; Mild wear

1. Introduction

Wear, the progressive damage and material loss which occurs on the surface of a component as a result of its motion relative to the adjacent working parts, has far reaching economic consequences which involve not only the costs of replacement but also the expenses involved in machine downtime and lost production. As a result, considerable efforts have been expended on the development of theories and deterministic models; for example, Meng and Ludema [1] have identified nearly 200 ‘wear equations’ involving an enormous spectrum of material properties and operating conditions. However, despite the best efforts of their authors, there is still no way of predicting, with confidence or certainty, the tribological performance of a loaded pair of surfaces, whether dry or lubricated, even if all of their physical and chemical properties have been independently established.

The response of a material to mechanical loading can be broadly classified as being either ductile or brittle. However, under the peculiar conditions generated under intensely loaded point or line contacts, a material may

display very different forms of behaviour from those observed under less arduous testing conditions; in particular, because of the intense local compressive stress fields materials which are usually classified as brittle (such as ceramics) can show significant plastic deformation while those that are ductile can show greatly enhanced strains prior to failure. The practical difficulty of simulating the physical environment (principally this high containing stress which can be of the order of several GPa) within the zone immediately under a point or line contact under more carefully controlled test conditions has meant that there is a dearth of good material data which can be used with confidence in some of the mechanical models referred to above.

No simple and universal model is applicable to all situations. In the dry, unlubricated or perhaps marginally lubricated sliding of two, usually dissimilar, loaded surfaces, so-called two-body conditions, the rate of surface degradation or damage of each depends (at least) on the factors of Table 1.

When a third body is present at the interface wear may be inhibited, though not entirely eliminated (for example if the third body is a lubricant or low shear strength film with a thickness dimension at least comparable with the mean surface roughness) or enhanced as in the case of contami-

* Tel.: +44-01223332641; fax: +44-01223332662

Table 1
Factors influencing dry wear rates

<ul style="list-style-type: none"> • Normal load • Relative sliding speed • Geometry (both macroscopic and local or topographic) • Initial temperature • Local environment, and • The thermal, mechanical and chemical properties of the materials involved

nation by entrained dirt (or even just the retained debris from previous wear events). Contamination by debris both harder and softer than the opposing solid surfaces is likely to be detrimental to the life of the contact though may involve different detailed mechanisms: the distribution of sizes, shapes and mechanical properties of the third bodies are all influential variables.

1.1. The Archard wear equation

A common starting point in the analysis of wear is often the Archard (or Rabinowicz) wear equation [2,3] which asserts that the wear volume w is directly proportional to the product of the load P on the contact and the sliding distance s but inversely proportional to the surface hardness H of the wearing material, so that

$$w = K \times \frac{Ps}{H}. \quad (1)$$

The dimensionless constant K is the non-dimensional wear coefficient. When interpreting experimental situations, the hardness of the uppermost layer of material in the contact may not be known with any certainty and, consequently, a rather more useful quantity than the value of K alone is the ratio K/H ; this is known as the dimensional wear coefficient or the specific wear rate and is usually quoted in units of $\text{mm}^3 \text{N}^{-1} \text{m}^{-1}$. For a material with hardness of 1 GPa, a non-dimensional wear rate of unity is equivalent to a measured wear rate of $1 \text{ mm}^3 \text{N}^{-1} \text{m}^{-1}$. Some values of K taken from relatively early wear literature, but still characteristic of such unlubricated systems, are shown in Table 2.

Table 2
Typical values of dimensionless wear coefficients for various materials against tool steel sliding in dry, unlubricated pin-on-disc tests in air: from Ref. [4]

Material	K
Mild steel (on mild steel)	7×10^{-3}
α/β brass	6×10^{-4}
PTFE	2.5×10^{-5}
Copper–beryllium	3.7×10^{-5}
Hard tool steel	1.3×10^{-4}
Ferritic stainless steel	1.7×10^{-5}
Polythene	1.3×10^{-7}
PMMA	7×10^{-6}

Several points emerge from this elementary table. First, the numerical values of K are always lower than unity, usually very much lower. Secondly, in the tests of Table 2 all the values of the coefficients of friction lay in a comparatively narrow range between 0.18 and 0.8 whereas the range of wear coefficients was very much greater, varying over 4 orders of magnitude. There is no simple correlation between friction and wear: although in a qualitative way it is reasonable to expect situations in which there are higher frictional forces to be also those involving relatively high wear, it is quite possible for material combinations to produce very similar frictional forces but very different wear behaviour.

Whatever the nature of the particular materials involved, the simplest classification of unlubricated surface interactions is into those involving either mild or severe wear. This is not based on any particular numerical value of wear rate but rather on the observation that increasing the severity of the loading (e.g., by increasing the normal load, sliding speed or bulk temperature) for any pair of materials leads at some stage to a comparatively sudden jump in the wear rate. The commonly observable differences between the two regimes of mild and severe wear are summarised in Table 3.

Such jumps or nonlinearities in wear behaviour or in material response have significant practical consequences for engineering designers. From a practical engineering point of view, mild wear might well be considered acceptable whereas the transition to severe conditions often represents a change to commercially unacceptable values. The engineer would thus like to know first for a given material pair and particular set of operating conditions, how close to this step change in outcome is the contact operating; secondly, supposing that there is no danger of an abrupt change into catastrophic conditions is it possible to estimate the rate of wear in terms of the operating conditions and readily measured material parameters.

1.2. Wear maps

To provide guidance to the first of these questions, the operating point of the design can be located in a map

Table 3
Distinction between mild and severe wear

Mild wear	Severe wear
Results in extremely smooth surfaces—often smoother than the original	Results in rough, deeply torn surfaces much rougher than the original surfaces
Debris extremely small typically less than 100 nm diameter	Large metallic wear debris up to 0.01 mm diameter
High electrical contact resistance	Low contact resistance, true metallic junctions formed

whose coordinates are chosen from the list in Table 1 and which is split into various territories each associated with some dominant mechanism of degradation [5]. Wear rates in successfully operating industrial equipment, as opposed to imposed experimental conditions (such as those of Table 2) can vary greatly from high values under particularly aggressive conditions to very low values in more benign circumstances; for example the designed ‘wear allowance’ in continuously running mechanical seals, which at best run under conditions of marginal lubrication, often permits them to lose material from their operating surfaces at a rate of no more than 1 mm per annum, equivalent to a non-dimensional rate of the order of 10^{-9} , well below any of the values of Table 2. A consequence of wear rates of these very small magnitudes is that in order to achieve dimensionally reliable measurable amounts of wear in laboratory tests these must be run for several hundred hours. Reducing the time scale of wear tests to speed up the production of data, for example by increasing loads or speeds, is a potentially hazardous procedure as there is always the danger of moving from a regime of operation within which one specific form of wear mechanism is dominant to another controlled by different physical phenomena. Such pitfalls can often be prevented, and

the way indicated in which changes in service conditions might be expected to influence wear response, by plotting changes of this sort on the appropriate wear map. The simplest imposed variables are clearly load and speed and using these as the ordinate and abscissa gives rise to the now relatively familiar Lim and Ashby maps [6]. The challenge, as these authors themselves pointed out, is to extend such plots from those based on empirical observational data and to construct such maps either from theory alone or, more profitably, from theory calibrated against experiment.

The Lim and Ashby form of map plots the severity of the load expressed as the applied normal pressure p (i.e., the normal load divided by the nominal area of the contact A_{nom}) vs. the sliding speed V . Such a map, which is specific to a particular material (surface topography, grain size, hardness etc.) has the merit that it also incorporates regimes of different chemical or surface reaction behaviour which are associated with temperature effects—although this is at the expense of detail on the mechanical forms of wear associated with different states of surface topography and asperity interaction. The general form of such a map for a metal is illustrated by that for medium-low carbon steels shown in Fig. 1. Pressure has been expressed non-di-

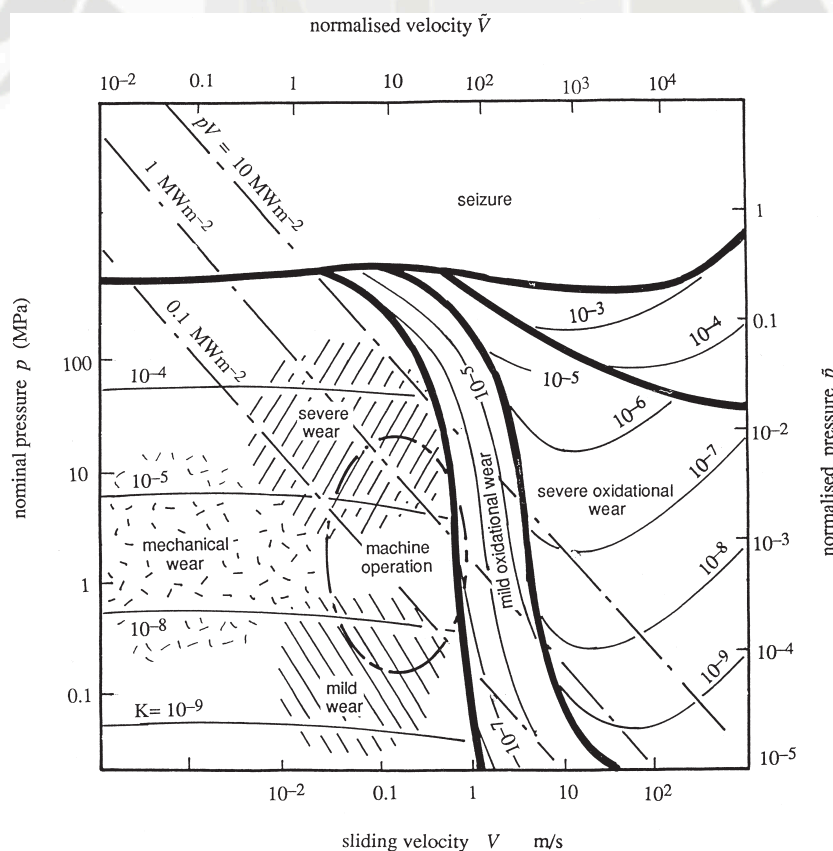


Fig. 1. A load–speed mechanism wear map for medium carbon steel based largely on pin-and-disc data. Load and speed both normalised as described in the text. Thick lines delineate different wear mechanisms and thin lines are contours of equal wear rates. Chain lines represent constant values of the pV factor.

mentally as $\tilde{p} = p/H$ where H is the indentation hardness of the softer surface, so that \tilde{p} is always less than 1. Regions of the map associated with different wear mechanisms are traversed by contours of equal wear rate, i.e., values of K . These can be established by extrapolation from test data available in the literature.

Characteristically, the map is divided into two regions by a roughly vertical field boundary. To the left of this division, wear is controlled by essentially mechanical processes; here the wear rate depends on the normal pressure (or load) but is not greatly dependent on sliding velocity so that contours of wear rate are more or less horizontal. On the other hand, to the right of this division, thermal and chemical effects (invariably under normal atmospheric conditions these involve oxidation) become the dominant influence and the contours of wear rate become functions of both load and velocity. For steel, this fundamental mechanism transition corresponds to dry sliding speeds of about 0.1 m s^{-1} ; below this, surface heating, and so oxidation, is relatively insignificant.

In the regime dominated by mechanical wear, there are regions within which the spacing between contours of wear rate is equal to that between changes of load of the same factor, for example, as K goes from 10^{-9} to 10^{-8} or from 10^{-5} to 10^{-4} , the load also changes by a factor of 10. In each of these cases wear rate and load are directly proportional to each other, i.e., in accord with Eq. (1). But this is not the case throughout the region; the gap between the contours for K equal to 10^{-8} to that for 10^{-5} , covering three orders of magnitude corresponds to a load change of only one order. This very rapid increase in wear rate is an example of the transition from ‘mild’, and hence usually acceptable levels, to ‘severe’ (usually unacceptable) values brought about by an increase in load. Dry or marginally lubricated contacts in machines between steel surfaces often operate at nominal pressures of a few megapascals and at sliding speeds of the order of something less than a metre per second; in other words just at this level of wear uncertainty. Note that at a given level of load but at high sliding speeds, surface oxidation can be protective and provide reductions in loss of material, i.e., dips in the contours of K , when the softened oxide film acts as a protective almost lubricant layer over the metallic substrate.

An important design guide to the consequences of dry rubbing is the energy input per unit area, i.e., the product of pressure and sliding speed, the ‘ pV ’ value. Since the map is drawn on log-log scales constant pV values will plot as straight lines with a negative slope and three such lines are shown in Fig. 1 for specific energies of 0.1, 1 and 10 MW m^{-2} which are typical of dry running machine contacts. Very often the machine designer will have very little control over the nominal contact pressure and the sliding speed for a particular application. He or she will be obliged by making recommendations about materials and secondary operating conditions to try and ensure that

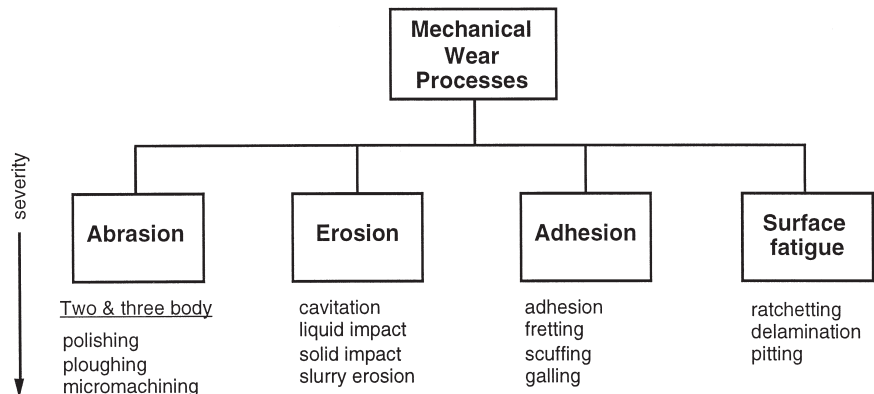
during the initial stages of component history a mild and acceptable wear regime is established.

1.3. Mechanical wear maps

An often quoted maxim in tribology is the warning that it makes no sense to speak of the friction of a single material without specifying both the nature of the counterface as well as the operating conditions of the overall contact. At first sight, the Ashby map appears to conflict with this admonition as there is no mention of the material of the counterface. Features of this, the second body, have differing levels of significance depending on the imposed conditions. For example, when the sliding speed is large, so will be the energy input, and the conductivity of both first and second bodies will be influential in controlling the conduction paths of the thermal energy generated at the interface; counterface thermal conductivity thus has a significant effect on interface temperatures. At lower sliding speeds, within the mechanical range of surface interactions, conductivity will be less important but now counterface topography and interfacial shear stress will play more significant roles.

The conventional categories of mechanical wear processes are summarised in Table 4. A surface exposed to hard particulate contamination can deteriorate by both erosion (when the particulate have a significant velocity normal to the surface), and abrasion and the latter can either be of the three-body form (if the particles roll and tumble through the constriction), or two-body if they become embedded in the opposing surface, and when the situation will be more akin to the wear by a hard rough counterface. Under these circumstances, an alternative map, of a form suggested by Childs [7], which gives more emphasis to the mechanical aspects of surface damage but less to the thermal (since velocity is not considered as an independent variable) is more appropriate: such a map is sketched in Fig. 2. This shows the regimes of wear on axes representing the shear strength of the interface τ between the two materials plotted linearly (and usually normalised by k the shear strength of the weaker material) vs. the logarithm of some roughness parameter such as the angle θ representing the average slope of asperities on the harder abrading surface. Rough counterfaces, i.e., those with high values of surface slope, lead to severe wear of the softer surface by abrasion; this always involves severe plastic deformation and can take the form of a combination of ploughing (in which, although the surface topography is much modified, only a small proportion of the displaced material is actually detached from the surface) and micro-machining or cutting (when a much higher proportion of the plastically deforming material is lost as wear debris). Processes of abrasive machining—grinding, polishing, lapping etc.—can be thought of as being analogous to abrasive wear. Asperity slopes of grinding wheels and abrasive papers are likely to range from a few degrees to 10° or

Table 4
The classification of mechanical wear processes



more and so generate wear by a combination of ploughing and cutting mechanisms.

Once significant volumes are lost by micro-machining, reducing the interfacial shear stress has the effect of increasing the volumetric loss because the efficiency of the cutting operation is improved; a situation in which reducing friction enhances wear. This is in contrast to the circumstances over the rest of the map in which reducing the surface shear stress lowers the wear rate. This switch in the effect of local frictional reductions can be used as the defining feature of truly abrasive wear. When the abrading surface is much less rough, so that the value of θ is small, elastic deformations cannot be neglected—indeed they may be sufficient to accommodate the applied loads alone—so that wear in repeated traversals, which is the usual

situation in most tribological devices, depends on some form of fatigue or damage accumulation mechanism. Wear rates are much lower, ‘mild’ rather than ‘severe’, and their prediction, in terms of material and operational parameters, presents a formidable challenge to those working in the field.

Observation by scanning electron microscopy and ferrogrography have made it apparent that metallic wear particles, other than those generated under relatively severe abrasive conditions or pitting fatigue, commonly take the form of thin platelets. In addition, metallographic sections of wearing surfaces often reveal near-surface cracks lying parallel, or very nearly parallel, to the free surface. This led Suh [8] to introduce the term ‘delamination wear’ and to initiate their analysis by the techniques of fracture

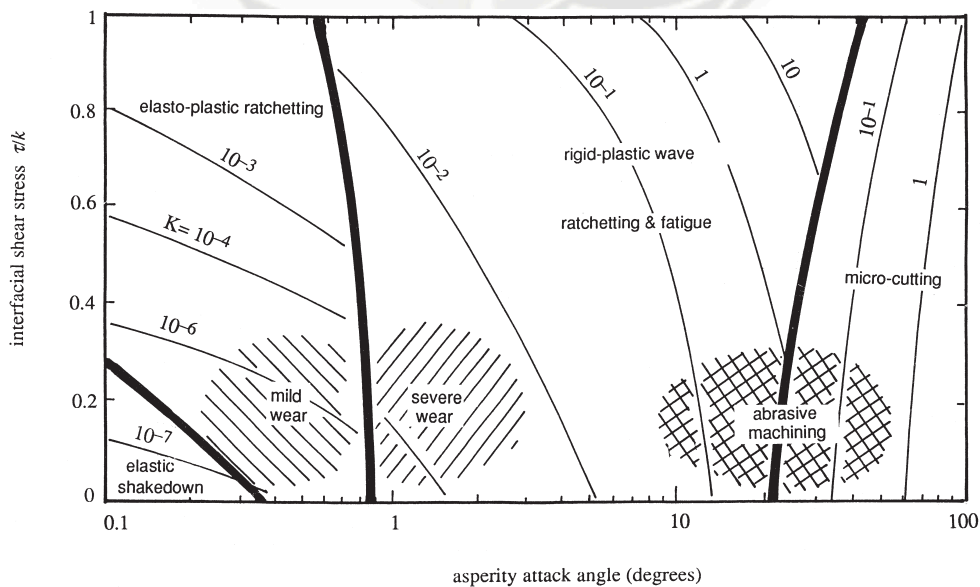


Fig. 2. Wear mechanism map for a soft surface abraded by a harder, rough counterface. The ratio τ/k represents the relative strength of the interface and θ the mean slope of the rough surface (or the attack angle of a single asperity). Thicker lines delineate different wear mechanism and thin lines represent contours of equal wear rate.

mechanics: a review of this work is available by Jahanmir [9]. However, these cracks present mechanics with a problem in that under contact loadings they appear on planes which carry very large compressive stresses [10]. To overcome this difficulty it was suggested that they were, in fact, mode II (shear) cracks and several analyses were carried out on this basis (see Ref. [11]). While these models have been of value in relation to pitting failure in rolling contact fatigue, where the cracks penetrate relatively deeply into the material, it became clear that in shallower cases, the forces of friction at the highly compressed faces of any such defect effectively suppress the local mode II stress intensity factors. It now seems much more likely that in many cases these near-surface failures are of a ductile nature and result from an accumulation of plastic strain very close to the component surface rather than being driven by elastic stress intensity factors. This view of the metallic wear process suggests that in situations of repeated sliding, modelling should concentrate on plastic deformation of the near-surface material.

2. Modelling abrasive wear

2.1. Multiple contacts

The classical experimental work on abrasive wear and on the abrasion resistance of metals (e.g., Kruschov [12] and Richardson [13]) involved experiments in which specimens of each material, usually in the form of cylindrical pins, were rubbed against a 'standard' abrasive—conventionally an abrasive paper or cloth carrying silicon carbide or quartz particles; the volume lost from the test samples increased in proportion to both the sliding distance and the normal load applied, as indicated in Fig. 3. This plot also demonstrates that the relative wear resistance (that is the ratio of the of the wear volume of some standard material to that of the sample material tested under the same experimental conditions) of a wide range of pure metals is proportional to hardness. However, the relationship becomes more complicated for engineering materials which consist of two or more phases: for example, steels of different alloy compositions which have been heat treated to give a range of hardness values, still give linear plots but of different slopes from that of pure single phase metals. Metallurgical investigations have suggested that as a general rule, the abrasive wear resistance of steels increases with their carbon content but the actual numerical value is very dependent on micro-structural details. In pearlitic steels, for example, considerable improvements in abrasion resistance can be achieved by refining the structure of the pearlite. Martensite, by virtue of its hardness, is very resistant to wear, but even in a martensitic steel the volumes and precise compositions of the carbide phases can be extremely important in determining the value of the relative wear resistance, and careful control of the metal-

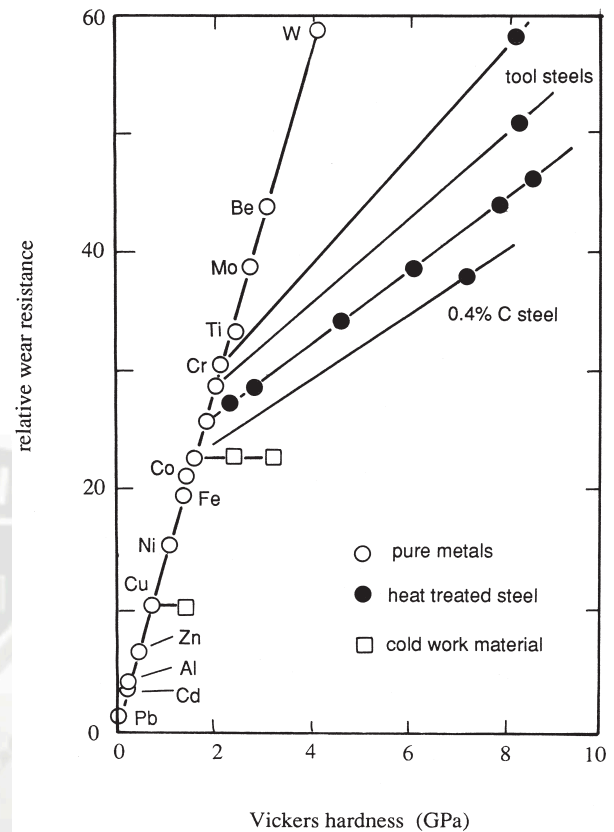


Fig. 3. The effect of hardness of metals on their abrasion resistance (proportional to the reciprocal of wear rate): from Kruschov [12].

lurgy is essential to optimise material performance. Experiments producing data of the sort displayed in Fig. 3 are examples of multiple wear events, i.e., situations in which the resultant abraded surface is formed by the superposition of many interactions between individual abrasive grains or asperities on the harder surface and the wearing surface of the softer specimen.

Setting to one side the difficulties encountered with two- or multi-phase materials, it has become conventional to interpret such data in terms of an Archard wear equation, i.e., Eq. (1), notwithstanding the fact that this was proposed initially to describe adhesive rather than abrasive wear and that over the course of a complete test (or the life of a component) linearity between the worn volume and load may not be maintained, generally being higher both during the initial running-in (or break out) phase and in the final stages of component life preceding some form of catastrophic failure. Typical values of the constant K in two-body abrasion lie in the range 0.005 to 0.05; values in three-body abrasion (when the abrasive can roll and tumble between the sliding surfaces) tend to be lower perhaps down to 0.0005. Most research into abrasive wear (see for example the review by Zum Gahr [14]) has concentrated on the two extremes of the process. One approach has been to experimentally study multiple asperity contacts of the sort described above. While these can provide much useful



Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications!

Friction and Friction Coefficients of some Common Materials

Friction theory and friction coefficients for some common materials and materials combinations

[Sponsored Links](#)

Frictional force can be expressed as

$$F_f = \mu N \quad (1)$$

where

F_f = frictional force (N, lb)

μ = static (μ_s) or kinetic (μ_k) frictional coefficient

N = normal force (N, lb)

For an object pulled or pushed horizontally, the normal force - N - is simply the weight:

$$N = m g \quad (2)$$

where

m = mass of the object (kg, slugs)

g = acceleration of gravity (9.81 m/s², 32 ft/s²)

Frictional Coefficients for some Common Materials and Materials Combinations

Materials and Material Combinations		Static Frictional Coefficient - μ_s	
		Clean and Dry Surfaces	Lubricated and Greasy Surfaces
Aluminum	Aluminum	1.05 - 1.35	0.3
Aluminum-bronze	Steel	0.45	
Aluminum	Mild Steel	0.61	
Brake material	Cast iron	0.4	
Brake material	Cast iron (wet)	0.2	
Brass	Steel	0.35	0.19
Brass	Cast Iron	0.3 ¹⁾	
Brick	Wood	0.6	
Bronze	Steel		0.16
Bronze	Cast Iron	0.22 ¹⁾	
Bronze - sintered	Steel		0.13
Cadmium	Cadmium	0.5	0.05
Cadmium	Mild Steel	0.46 ¹⁾	
Cast Iron	Cast Iron	1.1, 0.15 ¹⁾	0.07 ¹⁾
Cast Iron	Oak	0.49 ¹⁾	0.075 ¹⁾
Cast iron	Mild Steel	0.4, 0.23 ¹⁾	0.21, 0.133 ¹⁾
Carbon (hard)	Carbon	0.16	0.12 - 0.14
Carbon	Steel	0.14	0.11 - 0.14
Chromium	Chromium	0.41	0.34
Copper-Lead alloy	Steel	0.22	
Copper	Copper	1	0.08
Copper	Cast Iron	1.05, 0.29 ¹⁾	
Copper	Mild Steel	0.53, 0.36 ¹⁾	0.18 ¹⁾
Diamond	Diamond	0.1	0.05 - 0.1
Diamond	Metal	0.1 - 0.15	0.1
Glass	Glass	0.9 - 1.0, 0.4 ¹⁾	0.1 - 0.6, 0.09-0.12 ¹⁾
Glass	Metal	0.5 - 0.7	0.2 - 0.3
Glass	Nickel	0.78	0.56
Graphite	Steel	0.1	0.1
Graphite	Graphite (in vacuum)	0.5 - 0.8	
Graphite	Graphite	0.1	0.1
Iron	Iron	1.0	0.15 - 0.20

Lead	Cast Iron	0.43 ¹⁾	
Leather	Oak	0.61, 0.52 ¹⁾	
Leather	Metal	0.4	0.2
Leather	Wood	0.3 - 0.4	
Leather	Clean Metal	0.6	
Magnesium	Magnesium	0.6	0.08
Nickel	Nickel	0.7 - 1.1, 0.53 ¹⁾	0.28, 0.12 ¹⁾
Nickel	Mild Steel	0.64 ¹⁾	0.178 ¹⁾
Nylon	Nylon	0.15 - 0.25	
Oak	Oak (parallel grain)	0.62, 0.48 ¹⁾	
Oak	Oak (cross grain)	0.54, 0.32 ¹⁾	0.072 ¹⁾
Phosphor-bronze	Steel	0.35	
Platinum	Platinum	1.2	0.25
Plexiglas	Plexiglas	0.8	0.8
Plexiglas	Steel	0.4-0.5	0.4 - 0.5
Polystyrene	Polystyrene	0.5	0.5
Polystyrene	Steel	0.3-0.35	0.3 - 0.35
Polythene	Steel	0.2	0.2
Polystyrene	Polystyrene	0.5	0.5
Rubber	Dry Asphalt	0.5 - 0.8 ¹⁾	
Rubber	Wet Asphalt	0.25 - 0.75 ¹⁾	
Rubber	Dry Concrete	0.6 - 0.85 ¹⁾	
Rubber	Wet Concrete	0.45 - 0.75 ¹⁾	
Silver	Silver	1.4	0.55
Sapphire	Sapphire	0.2	0.2
Silver	Silver	1.4	0.55
Steel	Steel	0.8	0.16
Teflon	Teflon	0.04	0.04, 0.04 ¹⁾
Teflon	Steel	0.04	0.04
Tungsten Carbide	Steel	0.4-0.6	0.1 - 0.2
Tungsten Carbide	Tungsten Carbide	0.2 - 0.25	0.12
Tungsten Carbide	Copper	0.35	
Tungsten Carbide	Iron	0.8	
Teflon	Teflon	0.04	0.04
Tin	Cast Iron	0.32 ¹⁾	
Wood	Clean Wood	0.25 - 0.5	
Wood	Wet Wood	0.2	
Wood	Clean Metal	0.2 - 0.6	
Wood	Wet Metals	0.2	
Wood	Concrete	0.62	
Wood	Brick	0.6	
	Wet snow	0.14, 0.1 ¹⁾	
Wood - waxed	Dry snow	0.04 ¹⁾	
Zinc	Cast Iron	0.85, 0.21 ¹⁾	
Zinc	Zinc	0.6	0.04

¹⁾ Kinetic frictional coefficient

Kinetic versus Static Frictional Coefficients

Kinetic frictional coefficients are used with relative motion between objects. Static frictional coefficients are used for objects without relative motion. Static coefficients are somewhat higher than kinetic coefficients.

Example - Friction Force

The friction force of a 100 lb wooden crate pushed across a concrete floor with friction coefficient of 0.62 can be calculated as:

$$F_f = 0.62 \cdot 100 \text{ (lb)}$$

$$= \underline{62 \text{ (lb)}}$$

- 1 lb = 0.4536 kg

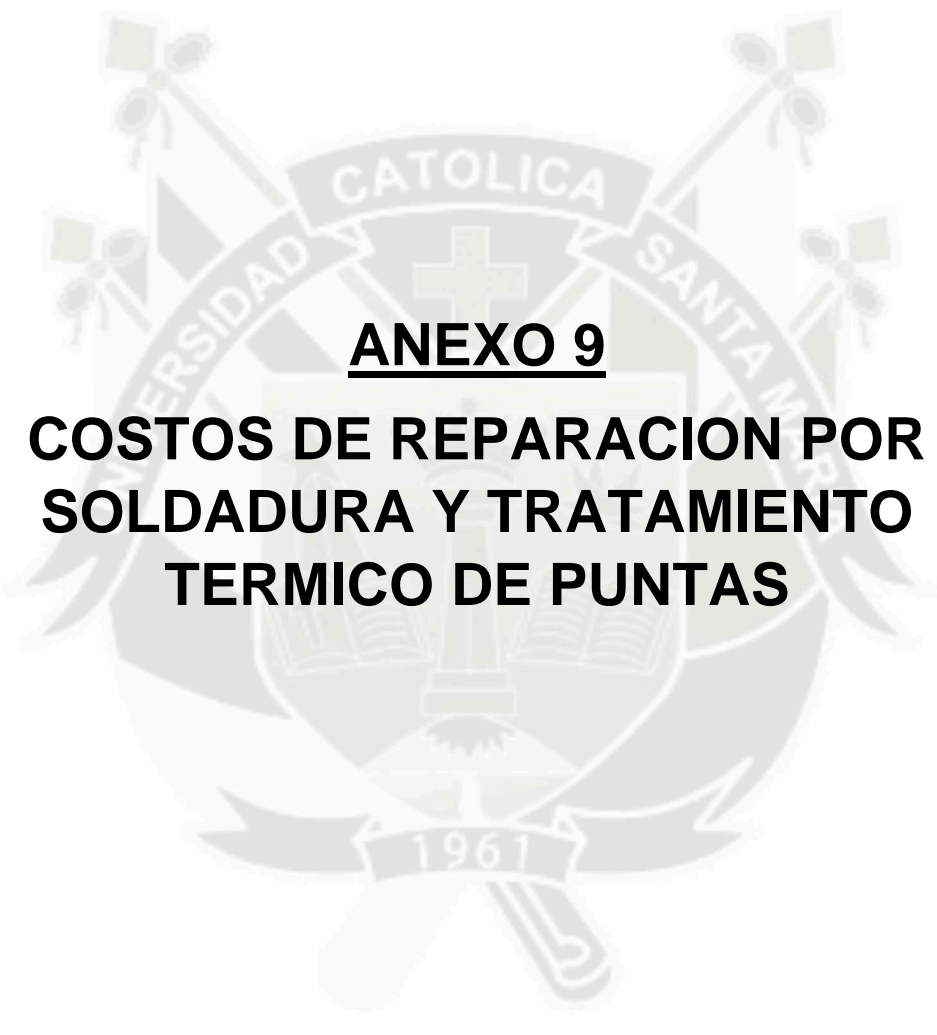


Coefficients of Friction “F”

Material	Static		Sliding	
	Dry	Lubricated	Dry	Lubricated
Aluminum on aluminum	1.35	-	-	-
Canvas belt on rubber lagging	0.30	-	-	-
Canvas belt, stitched, on steel	-	-	0.20	0.10
Canvas belt, woven, on steel	-	-	0.22	0.10
Cast iron on asbestos, fabric brake material	-	-	0.35-0.40	-
Cast iron on brass	-	-	0.30	-
Cast iron on bronze	-	-	0.22	0.07-0.08
Cast iron on cast iron	1.10	-	0.15	0.06-0.10
Cast iron on copper	1.05	-	0.29	-
Cast iron on lead	-	-	0.43	0.13-0.36
Cast iron on leather	.6	-	-	0.07-0.20
Cast iron on oak (parallel)	-	-	0.30-0.50	-
Cast iron on magnesium	-	-	0.25	0.133
Cast iron on steel, mild	-	0.18	0.23	-
Cast iron on tin	-	-	0.32	-
Cast iron on zinc	0.85	-	0.21	-
Earth on earth	0.25-1.0	-	-	-
Glass on glass	0.94	-	0.40	-
Hemp rope on wood	0.50-0.80	-	0.40-0.70	-
Nickel on nickel	1.10	-	0.53	0.12
Oak on leather (parallel)	0.50-0.60	-	0.30-0.50	-
Oak on oak (parallel)	0.62	-	0.48	0.16
Oak on oak (perpendicular)	0.54	-	0.32	0.07
Rubber tire on pavement	0.8-0.9	0.6-0.7*	0.75-0.85	0.5-0.7*
Steel on ice	0.03	-	0.01	-
Steel, hard, on babbit	0.42-0.70	0.08-0.25	0.33-0.35	0.05-0.16
Steel, hard, on steel, hard	0.78	0.11-0.23	0.42	0.03-0.12
Steel, mild, on aluminum	0.61	-	0.47	-
Steel, mild, on brass	0.51	-	0.44	-
Steel, mild, on bronze	-	-	0.34	0.17
Steel, mild, on copper	0.53	-	0.36	0.18
Steel, mild, on steel, mild	0.74	-	0.57	0.09-0.19
Stone masonry on concrete	0.76	-	-	-
Stone masonry on ground	0.65	-	-	-
Wrought iron in bronze	0.19	0.07-0.08	0.18	...
Wrought iron on wrought iron	-	0.11	0.44	0.08-0.10

* Wet pavement.





ANEXO 9
**COSTOS DE REPARACION POR
SOLDADURA Y TRATAMIENTO
TERMICO DE PUNTAS**

COSTOS POR REMUNERACION POR PUNTA REPARADA

			COSTO DE REMUNERACION DEL PERSONAL										
DESCRIPCION DE LA OBRA			REPARACIÓN DE PUNTA 85SV2RMX										
UBICACIÓN:			<u>MINERA CERRO VERDE</u>										
Item	NOMBRES Y APELLIDOS	N° Personas	BRUTO UNITARIO \$	APORTES DEL EMPLEADOR					ASIG FAM.	MES USD\$	TOTAL DIA USD\$	TOTAL H-H USD\$	TOTAL REPARACIÓN PUNTA - 4H USD\$
				Gratificac.	CTS	Essalud	Vacaciones	TOTAL APORTE S					
				17%	8.33%	9%	8.33%	42.66%					
1	Supervisor de Guardia	1	1,500.00	255.00	124.95	135.00	124.95	639.90	66.00	2,205.90	73.53	3.06	12.26
2	Supervisor de Seguridad	1	1,500.00	255.00	124.95	135.00	124.95	639.90	65.00	2,204.90	73.50	3.06	12.25
3	Técnico Soldador	1	975.00	165.75	81.22	87.75	81.22	415.94	65.00	1,455.94	66.18	2.76	11.03
	TOTAL	3	3,975.00	675.75	331.12	357.75	331.12	1,695.74	196.00	5,866.74	213.21	8.88	\$ 35.53

COSTOS DE CONSUMIBLES POR PUNTA REPARADA

COSTO DE CONSUMIBLES									
DESCRIPCIÓN DE LA OBRA				REPARACIÓN DE PUNTA 85SV2RMX					
UBICACIÓN:				MINERA CERRO VERDE					
ITEM	MATERIAL	CANT.	UND MED	Nro Factura	PROVEEDOR	Precio unit soles	Precio unit. US\$	Total soles	Total US\$
SOLDADURA									
1	Alambre soldadura E71T-1	2	Kg		Sedisa		3.500	0.000	7.000
GASES									
1	Dioxido de carbono	2	Kg		Praxair	4.500		9.000	0.000
CONSUMIBLES DE SOLDAR									
1	Portatobera	1	und		Unimaq		6.111	0.000	6.111
2	Tobera	1	und		Unimaq		4.656	0.000	4.656
DISCOS									
1	Disco desbaste Tyrolit 7"	1	und		Sedisa		3.340	0.000	3.340
2	Disco desbaste Tyrolit 4.5"	1	und		Sedisa		2.010	0.000	2.010
3	Escobilla circular acero Faesin 4.5"	1	und		Sedisa		12.190	0.000	12.190
VARIOS									
1	Lunas claras para careta de soldador	1	und		Sedisa		0.090	0.000	0.090
2	Micas transparentes	1	und				0.450	0.000	0.450
3	Lunas negras numero 12	1	und		Sedisa		0.500	0.000	0.500
4	Aerosol penetrante. Magnaflux	1	und		Indura	23.330		23.330	0.000
5	Aerosol revelador. Magnaflux	1	und		Indura	23.330		23.330	0.000
6	Tizas de temperatura de 120 C	1	und			50.000		50.000	0.000
								S/. 105.660	\$ 36.35

TOTAL US\$	3.28	\$	32.21	\$	36.35
-------------------	------	----	-------	----	-------

TOTAL US\$	\$	68.56
-------------------	-----------	--------------

COSTOS DE MAQUINA Y EQUIPO POR PUNTA REPARADA

COSTOS DE MAQUINAS Y EQUIPOS													
DESCRIPCION DE LA OBRA			REPARACION DE PUNTA 85SV2RMX										
UBICACION:			MINERA CERRO VERDE										
ITEM	Descripción	Cantidad	Valor del bien USD\$	Total	Vida Util AÑOS	Depreciación	Depreciación Anual	Depreciación Mensual	FACTOR DE UTILIZACION %	Depreciación 01 mes	Depreciación 01 día	Depreciación 01 Hora	Depreciación 4 Hora Reparación de punta
1	MAQUINA DE SOLDAR TIPO IVERTEC V350 -PRO LINCOLN	1	3,686	3,686.00	5	20%	737	\$ 61	100%	\$ 61.43	\$ 2.05	\$ 0.09	\$ 0.34
2	ALIMENTADOR LINCOLN LN-25	3	1,940	5,820.00	5	20%	1,164	\$ 97	0%	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3	CARRITO DE OXICORTE AUTOMATICO	3	2,600	7,800.00	5	20%	1,560	\$ 130	0%	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4	ALIMENTADOR LINCOLN LN-25	1	1,940	1,940.00	5	20%	388	\$ 32	100%	\$ 32.33	\$ 1.08	\$ 0.04	\$ 0.18
5	AMOLADORA ELECTRICA, 7 PULG.	1	200	200.00	1	100%	200	\$ 17	100%	\$ 16.67	\$ 0.56	\$ 0.02	\$ 0.09
6	AMOLADORA DE 4.5 PULGADAS.	1	153	153.00	1	100%	153	\$ 13	50%	\$ 6.38	\$ 0.21	\$ 0.01	\$ 0.04
7	COMPRESOR DE AIRE.	1	24,000	24,000.00	5	20%	4,800	\$ 400	20%	\$ 80.00	\$ 2.67	\$ 0.11	\$ 0.44
8	MONTACARGA	1	140,000	140,000.00	10	10%	14,000	\$ 1,167	30%	\$ 350.00	\$ 11.67	\$ 0.49	\$ 1.94
9	BIOMBOS DE PROTECCION.	3	200	600.00	1	100%	600	\$ 50	100%	\$ 50.00	\$ 1.67	\$ 0.07	\$ 0.28
10	MANTAS TERMICAS	1	150	150.00	1	100%	150	\$ 13	80%	\$ 10.00	\$ 0.33	\$ 0.01	\$ 0.06
11	EXTINTOR MANUAL PQS 10KG	1	150	150.00	1	100%	150	\$ 13	100%	\$ 12.50	\$ 0.42	\$ 0.02	\$ 0.07
12	PIROMETRO INFRARROJO	1	200	200.00	5	20%	40	\$ 3	50%	\$ 1.67	\$ 0.06	\$ 0.00	\$ 0.01
13	MESAS DE TRABAJO	1	1,000	1,000.00	3	33%	333	\$ 28	50%	\$ 13.89	\$ 0.46	\$ 0.02	\$ 0.08
14	CARRITOS PORTABALONES DE 01	1	500	500.00	5	20%	100	\$ 8	100%	\$ 8.33	\$ 0.28	\$ 0.01	\$ 0.05
Costo Total Inicial:				185,699			24,276	\$ 2,023		\$ 643.20	\$ 21.44	\$ 0.89	\$ 3.57

COSTOS DE HERRAMIENTA POR PUNTA REPARADA

COSTOS DE HERRAMIENTAS													
DESCRIPCION DE LA OBRA			REPARACIÓN DE PUNTA 85SV2RMX										
UBICACIÓN:			MINERA CERRO VERDE										
ITEM	DESCRIPCION	Cantidad	Valor del bien USD\$	Total	Vida Util AÑOS	Depreciacion	Depreciacion Anual	Depreciacion Mensual	FACTOR DE UTILIZACION %	Depreciacion 01 mes	Depreciacion 01 día	Depreciacion 01 Hora	Depreciacion 4 Hora - Reparación de punta
1	BARRETAS	1	70	70.00	1	100.00%	70.00	5.83	50.00%	2.92	\$ 0.097	\$ 0.004	\$ 0.016
2	CONOS ANARANJADOS	2	30	60.00	1	100.00%	60.00	5.00	50.00%	2.50	\$ 0.083	\$ 0.003	\$ 0.014
3	COMBAS DE 12 LIBRAS DE BRONCE	1	180	180.00	1	100.00%	180.00	15.00	50.00%	7.50	\$ 0.250	\$ 0.010	\$ 0.042
4	ESCOBILLAS DE MANO DE ACERO	1	10	10.00	0.5	200.00%	20.00	1.67	50.00%	0.83	\$ 0.028	\$ 0.001	\$ 0.005
5	MARTILLO DE BOLA	1	50	50.00	1	100.00%	50.00	4.17	50.00%	2.08	\$ 0.069	\$ 0.003	\$ 0.012
6	WINCHA DE 5 METROS	1	10	10.00	0.5	200.00%	20.00	1.67	50.00%	0.83	\$ 0.028	\$ 0.001	\$ 0.005
7	CINCEL	1	20	20.00	2	50.00%	10.00	0.83	50.00%	0.42	\$ 0.014	\$ 0.001	\$ 0.002
8	EXTENSION DE 220V	1	100	100.00	2	50.00%	50.00	4.17	50.00%	2.08	\$ 0.069	\$ 0.003	\$ 0.012
										19.17	0.64	0.03	\$0.11

COSTOS DE EPP POR PUNTA REPARADA

COSTOS DE EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL											
DESCRIPCION DE LA OBRA			REPARACIÓN DE PUNTA 85SV2RMX								
UBICACIÓN:			MINERA CERRO VERDE								
ITEM	MATERIAL	CANT.	% DE USO mes	UND MED	Precio unit. soles	Precio unit. US\$	Total MES soles	Total MES US\$	Depreciacion 01 día	Depreciacion 01 Hora	Depreciacion 4 Hora - Reparación de punta
1	Casco MSA	3	20.00%	und	28.38		20.43	0.0000	0.68	0.028	0.114
2	Pantalon soldador cuero amarillo	1	30.00%	und	152.54		54.91	0.0000	1.83	0.076	0.305
3	Casaca de soldador cuero amarillo	1	30.00%	und	169.49		61.02	0.0000	2.03	0.085	0.339
4	Mandil soldador	1	30.00%	und	72.46		26.09	0.0000	0.87	0.036	0.145
5	Zapatos punta de acero cuero marrón	3	20.00%	und	139.83		100.68	0.0000	3.36	0.140	0.559
6	Escarpines soldador cuero amarillo	1	20.00%	par	27.97		6.71	0.0000	0.22	0.009	0.037
7	Guantes de maniobra amarillo	2	100.00%	par	11.86		28.46	0.0000	0.95	0.040	0.158
8	Guantes de soldador	1	100.00%	par	17.80		21.36	0.0000	0.71	0.030	0.119
9	Lentes claros 3M	3	20.00%	und	15.00		10.80	0.0000	0.36	0.015	0.060
10	Lentes oscuros 3M	3	20.00%	und	15.00		10.80	0.0000	0.36	0.015	0.060
11	Tapones de oido 3M silicona	3	100.00%	und	0.24		0.86	0.0000	0.03	0.001	0.005
12	Rdilleras de Jebe rojo	1	30.00%	par	50.85		18.30	0.0000	0.61	0.025	0.102
13	Respirador media cara 3M	3	30.00%	und	68.64		74.13	0.0000	2.47	0.103	0.412
14	Filtro 3M 2097	1	100.00%	par	24.20		29.04	0.0000	0.97	0.040	0.161
15	Sobrelente 3M	1	30.00%	und	13.56		4.88	0.0000	0.16	0.007	0.027
16	Chaleco reflectivo	3	30.00%	und	15.00		16.20	0.0000	0.54	0.023	0.090
17	Uniforme de dos piezas	3	30.00%	und	150.00		162.00	0.0000	5.40	0.225	0.900
18	Gorra de jean para soldar	1	30.00%	und	9.32		3.36	0.0000	0.11	0.005	0.019
19	Careta de soldador	1	30.00%	und	23.73		8.54	0.0000	0.28	0.012	0.047
20	Careta de esmerilar	1	30.00%	und	25.42		9.15	0.0000	0.31	0.013	0.051
							S/. 667.73	0.00	S/. 22.26	S/. 0.93	S/. 3.71

CONVERSION USD\$	3.28	\$ 203.58	0.00	\$6.79	\$0.28	\$ 1.13
-------------------------	-------------	------------------	-------------	---------------	---------------	----------------



Cotización tratamiento térmico

Estimado:

Se tendría que realizar una prueba de temple y revenido para ver si se obtiene la dureza solicitada (una pieza). Además consultar si son elementos fundidos por el riesgo que se presenta al momento del tratamiento, **el costo del servicio es de S/ 10.90 x kg + IGV por ambos tratamiento térmicos**

Adjunto las condiciones de servicio y la carta de compromiso si se trataran de piezas fundidas.

Atentamente,

Arturo García Díaz
Jefe de Planta
Planta de Tratamientos Térmicos



Cotización tratamiento térmico

Según el requerimiento de una cotización sobre templado y revenido de una pieza fundida se requiere datos de su composición química y dureza, **el costo del servicio es de S/ 8.98 x kg + IGV por ambos tratamiento térmicos tanto temple como revenido**



	Ing. Fredy Verastegui Y. Asesor Técnico Comercial
ACEROS DEL PERU Asesoría Técnica en Aceros Especiales y Tratamientos Térmicos	RPM : #947670083 - 947670083
www.acerosdelperu.pe	ENTEL  : 946582292
	RPC : 979717444
	C. Telf: : (054) 601000 anexo 311
	E-mail : fverastegui@acepesac.com
Dirección:	Calle Lambayeque N°105 (Primera cuadra Av. Lima) Mariano Melgar - Arequipa

Latin America D65 Pin-On Forecast

Preliminary Steelhead PMID	Description	Mach	Replaces	2011 Sales Qty	2012 Sales Qty	Est. Clean Wgt. (lbs)	Preliminary List Price (USD)	Std Disc
U65R	Rock Point	Cable	65SV2RX/ V61RY	0	35	64	\$ 366	17%
8722W-U65	5.00", Bolt-on for OMZ	Cable	8722W-65SV2	0	0	361	\$ 1,562	19%

Preliminary Steelhead Schedule and Pricing as of April 6, 2012

Latin America D75 Pin-On Forecast

Preliminary Steelhead PMID	Description	Mach	Replaces	2011 Sales Qty	2012 Sales Qty	Est. Clean Wgt. (lbs)	Preliminary List Price (USD)	Std Disc
U75RHL	Cable shovel Heavy Box Long	Cable	75SV2RHXL/ V71RMHL	318	142	215	\$ 882	17%
U75RH	Cable shovel Heavy Box Short	Cable	75SV2RXX/ V71RMX	0	0	184	\$ 793	17%
U75RL	Cable Shovel Standard Box Long	Cable	75SV2RXXL/ V71RXXL	0	0	207	\$ 839	17%
U75R	Cable Shovel Standard Box Short	Cable	75SV2RXL/ V71RXL	112	139	164	\$ 704	17%
UW175	Heavy Wear Cap	Cable	WC175	0	52	67	\$ 380	17%
WHP10W02-U75	Whisler Plus for WH10 w/00 nose	Cable	WHP10W02-75SV2/ 498A-V71	12	16	784	\$ 4,716	19%
8721W-U75	Russian OMZ bolt-on	Cable	8721W-75SV2	0	0	564	\$ 2,752	19%
461-U75	WH8 WC style	Cable	461-75SV2/ 461-V71	0	0	494	\$ 2,769	19%
WHP10W62-U75	Whisler Plus for WH10 w/60 nose	Cable	WHP10W62-75SV2/ 495-V71	0	0	807	\$ 5,015	19%
491-U75	WH10 WC style	Cable	491-75SV2/ 491-V71	12	6	740	\$ 3,723	19%
WHP475W21-U75	Whisler Plus for Berkeley 4.75" boss	Cable	WHP475W22-75SV2	0	0	686	\$ 5,167	19%

Preliminary pricing is a straight 5% increase over like SV2 pricing (Jan. 2012 NA EP Base)

Latin America D85 Pin-On Forecast

Preliminary Steelhead PMID	Description	Mach	Replaces	2011 Sales Qty	2012 Sales Qty	Est. Clean Wgt. (lbs)	Preliminary List Price (USD)	Std Disc
U85RHL	Cable shovel Heavy Box Long	Cable	85SV2RHXL/ V81RHXL	82	0	259	\$ 1,106	17%
U85RH	Cable shovel Heavy Box Short	Cable	85SV2RMX/ V81RMX	4,701	5,134	238	\$ 1,047	17%
U85RL	Cable Shovel Standard Box Long	Cable	85SV2RXXL/ V81RXXL	748	263	248	\$ 1,040	17%
U85R	Cable Shovel Standard Box Short	Cable	85SV2RXL/ V81RXL	782	638	200	\$ 848	17%
U85CL	Oil Sands	Cable	85SV2SDP/ V81SD	0	127	221	\$ 1,351	17%
U85RS	Cable Shovel Standard Box Long	Cable	85SV2RXXL/ V81RXXL	748	263	248	\$ 1,040	17%
WCU85H	Heavy Wear Cap	Cable	WC185	0	1,582	85	\$ 339	17%
WCU85	Wear Cap	Cable	WC185	-	5,917	85	\$ 339	17%
WHP10W02-U85	Whisler Plus for WH10 w/00 nose	Cable	WHP10W02-85SV2/ 490-V81	215	109	841	\$ 4,920	19%
WHP600W02-U85	Whisler Plus for Berkeley 4.75" boss	Cable	WHP600W02-85SV2	73	55	989	\$ 6,909	19%
WHP12W22-U85	Whisler Plus for WH12 w/20 nose	Cable	WHP12W22-85SV2	138	290	984	\$ 7,343	19%
WHP12W53-d85	Whisler Plus W/C Style w/50 nose	Cable	WHP12W53-85SV2	9	32	962	\$ 6,506	19%
1491-U85	Whisler WH12 W / C Style w/20 nose	Cable	1491-85SV2/ 1491-V81	152	152	904	\$ 6,119	19%
1492-U85	1492-85SV2;SV2 Whisler Adapter	Cable	1492-85SV2	0	0	963	\$ 6,432	19%
WHP12N53-U85	Whisler W / C Style w/50 nose	Cable	WHP12N53-85SV2	0	0	993	\$ 6,501	19%
489A-D85	Whisler W / C Style w/00 nose	Cable	489A-85SV2/ 489A-V81	130	128	796	\$ 4,100	19%
WHP480W01-U85	Berkley 4.80 TLC	Cable	WHP480W01-85SV2	48	13	941	\$ 5,674	19%
WHP10W62-U85	Whisler Plus for WH10 w/60 nose	Cable	WHP10W62-85SV2/ 495-V81	0	0	884	\$ 5,000	19%
1495-U85	Whisler W / C Style w/80 nose	Cable	1495-85SV2/ 1495-V81	73	111	906	\$ 5,959	19%
1415-D85	Berkley 6.00 TLC W / C Style w/00 nose	Cable	1415-85SV2/ 1415-V81	0	0	940	\$ 6,110	19%

Preliminary pricing is a straight 5% increase over like SV2 pricing (Jan. 2012 NA EP Base)