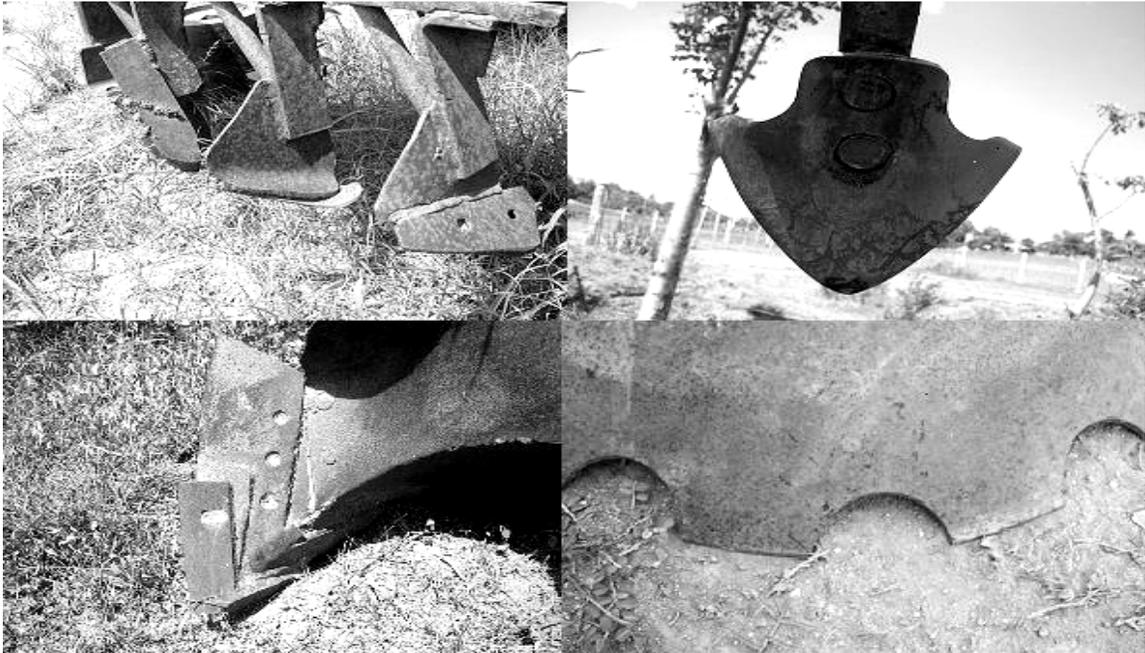


Concepciones tribológicas y métodos de restauración de implementos de labranza



Colectivo de Autores

Edición: José Angel Morejón Sardiñas

Corrección: Estrella Pardo Rodríguez

Diagramación: Roberto Suárez Yera

Elvis López Bravo, Miguel Herrera Suárez, Amado Cruz Crespo, 2010

Editorial Feijóo, 2010

ISBN: 978-959-250-894-1



EDITORIAL
Feijóo

Editorial Samuel Feijóo, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Carretera a Camajuaní, km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP 54830

RESUMEN

El presente trabajo aborda el fenómeno del desgaste como causa fundamental del deterioro de los medios de labranza agrícolas, consecuencia de la interacción con el suelo entre otros factores. Se analizan las propiedades de los suelos cubanos a partir de su contenido de minerales y su acción como medio abrasivo, las diferentes manifestaciones del desgaste que se presentan en la maquinaria agrícola vinculadas a las condiciones explotativas y medioambientales, los principales indicadores que caracterizan el desgaste así como su relación con el mantenimiento y la fiabilidad de los elementos de máquinas. Se explica la alternativa del recargue superficial como método para aumentar la vida útil de los medios de labranza y se profundiza en la constitución de los fundentes para el proceso de soldadura bajo fundente. También se valora las alternativas de labranza conservacionista como medio para minimizar el desgaste así como las implicaciones que tiene en la salud humana la interacción con los sistemas agrícolas.

TABLA DE CONTENIDOS

Contenido	Pág.
<i>Introducción</i>	4
<i>El desgaste como resultado de la fricción</i>	7
<i>Propiedades de los suelos altamente abrasivos</i>	14
<i>Tecnologías empleadas para el laboreo de suelos abrasivos</i>	18
<i>El desgaste de los medios de labranza de suelos</i>	22
<i>Indicadores para la determinación del desgaste</i>	29
<i>La fiabilidad y el mantenimiento</i>	31
<i>Recargue con soldadura por arco sumergido</i>	35
<i>Particularidades de los fundentes cerámicos y fundidos</i>	37
<i>Técnicas para la medición del desgaste de materiales</i>	47
<i>Aplicaciones de los plásticos en agricultura</i>	51
<i>La labranza conservacionista como alternativa</i>	53
<i>Accidentes de trabajo</i>	59
<i>Bibliografía</i>	68

INTRODUCCIÓN

Las maquinarias agrícolas y los implementos de labranza de los suelos son elementos que presentan un alto índice de deterioro porque las condiciones agresivas de trabajo, el contacto directo con la superficie abrasiva de los suelos, en muchos casos arenosos con alto contenido de cuarzo, constituyen la causa fundamental del desgaste acelerado que sufren estos medios.

El conocimiento de las leyes que rigen los procesos de fricción y su relación con la microestructura de los materiales friccionantes constituye la base para la obtención y desarrollo de materiales más resistentes que hacen más duradero la etapa de explotación de los medios y garantizan la calidad de las labores aerotécnicas.

El desgaste genera considerables pérdidas de materiales, recursos y tiempo, y por consiguiente la disminución de la producción conlleva pérdidas de gran cantidad de medios, así como la elaboración o adquisición de nuevos elementos, lo que encarece considerablemente el proceso. Además estos factores se une la necesidad de incrementar las velocidades de trabajo en aras de aumentar la productividad de la maquinaria. El incremento de la vida útil de los órganos de trabajo, de las máquinas agrícolas, se ha convertido en un problema básico en la práctica de la ingeniería en los últimos años, lo que está relacionado con el estudio de las leyes y mecanismos que rigen el proceso de desgaste que sufren los implementos durante el período de explotación y el uso de materiales más resistentes.

Los métodos de fabricación y reacondicionamiento con el uso de los procesos de soldadura constituyen una vía importante para reducir los daños ocasionados por el desgaste, por lo que se logran estructuras metalográficas de alta resistencia en la zona de trabajo del implemento de labranza; y aplicaciones de tratamientos térmicos de temple y revenido para obtener estructuras martensíticas con altos valores de dureza y uso de los aceros austeníticos con elementos de aleación, así como la fabricación de

los medios con materiales cerámicos o revestimientos especiales obtenidos por fundición o laminado que han sido un tema de constante investigación y desarrollo, en este sentido se destacan los productos OK-flux, Autectic+Castolin, Enron, entre otras firmas.

La fabricación de medios de labranza con alta resistencia al desgaste abrasivo como resultado de su interacción con el suelo así como la reconstrucción de los perfiles desgastados constituye una de las líneas de desarrollo para los procesos de manufactura y la ingeniería de materiales, para tales efectos se utilizan revestimientos utilizando procesos de soldadura autógena y por arco eléctrico, durante la construcción del implemento o la restitución de la geometría desgastada.

La labranza conservacionista constituye una forma superior de manejo agrícola; ofrece la posibilidad de reducir considerablemente los efectos negativos para la fertilidad de los suelos como resultado de sistemas altamente mecanizados que utilizan la inversión del prisma de suelo como premisa para su preparación, formación y desarrollo de los preceptos de la labranza conservacionista que trae consigo el diseño y fabricación de nuevos medios de labranza con características tales como la alta resistencia al desgaste que garantizan la calidad de las labores aerotécnicas.

La garantía de una adecuada seguridad durante la interacción con los sistemas agrarios solo se logra a partir de contar con elementos de máquinas duraderos y confiables, ello tiene vital importancia en el uso indiscriminado de los vehículos de tracción y del exceso de consumo de combustible fósil, pues la energía que demanda una operación puede ser hasta diez veces mayor que la requerida, además aumenta el consumo y la emisión al medio de gases perjudiciales.

DESARROLLO

1. El desgaste como resultado de la fricción

El desgaste es un proceso complejo y se produce en las superficies de los cuerpos debido a la fricción de otro cuerpo o medio. Trae como consecuencia la variación de la microgeometría y macrogeometría superficial, la modificación de la estructura y las propiedades físicas y mecánicas del material con o sin pérdida de material.

La fricción ha sido objeto de múltiples estudios donde se ha establecido su independencia de la velocidad de deslizamiento y la dependencia con las características de los materiales de los cuerpos friccionantes. La naturaleza de la fricción tiene un carácter dual, fricción se debe a la fuerza de adhesión entre los cuerpos y la fuerza condicionada con la rugosidad superficial de los cuerpos. La primera ley que logra expresar matemáticamente este fenómeno es la siguiente:

$$F_f = A_{adh.} + f \cdot F_n \quad (1)$$

donde:

F_f - fuerza de fricción

A_{adh} - componente adhesiva de la fuerza de fricción

F_n - carga normal a las superficies de rozamiento

f - coeficiente de fricción

La teoría adhesivo-deformacional de la fricción considera la fuerza de fricción como el resultado conjunto de la fuerza necesaria para cizallar las soldaduras puntuales formadas por la adhesión entre los cuerpos y la fuerza necesaria para producir el flujo plástico de las capas superficiales de los cuerpos comprimidos entre sí y como resultado se establece la siguiente expresión matemática para la fricción seca:

$$F_f = A \cdot [\alpha \cdot S_s + (1 - \alpha) \cdot S_p] \quad (2)$$

donde:

A- área de contacto real

S_s - resistencia a cortante de las uniones adhesivas

S_p - resistencia al movimiento o desplazamiento de las capas superficiales deformadas

α - parte de la superficie de contacto con la cual se produce la rotura de la unión adhesiva

El primer término de la expresión (2) representa la componente adhesiva de la fricción y el segundo término la componente deformacional.

La teoría de acuerdo con la cual la fricción esta condicionada a la adhesión y la rugosidad superficial, se expresa matemáticamente de la siguiente forma :

$$f = \frac{\tau_{cort}}{HB} + \text{tg } \Theta \quad (3)$$

donde:

τ_{cort} - resistencia media a cortante del área real de contacto.

HB - dureza del material más blando

Θ - ángulo medio de las asperezas

La teoría mecánico-molecular de la fricción considera como resultado la combinación de la adhesión molecular entre las superficies de rozamiento y el engranaje de las asperezas y deformaciones de las capas superficiales de los cuerpos en contacto, y establece la siguiente ley deformacional de la fricción .

$$f = \frac{\tau_0}{P_r} + \beta + K \sqrt{\frac{h}{R}} \quad (4)$$

donde:

τ_0 - resistencia a cortante de la unión friccional

P_r - presión real del contacto

β - constante friccional que caracteriza el reforzamiento de la unión adhesiva con la carga

h - profundidad de la penetración

R- radio de curvatura de la irregularidad en contacto

El componente molecular está condicionado por la adhesión en los puntos de las superficies en contacto y la mecánica depende de la penetración de las irregularidades de las superficies comprimidas.

El método energético para la determinación de la fricción introduce el concepto de "densidad de energía de fricción" y se expresa matemáticamente de la forma siguiente:

$$e_f = \frac{W_f}{V_f} \quad (5)$$

donde:

e_f - energía de fricción

V_f - volumen del material sometido a la fricción

W_f - trabajo de fricción

Conociendo el trabajo de fricción (W_f) se tiene:

$$e_f = \frac{f \cdot F_N \cdot S_f}{V_f} \quad (6)$$

donde:

S_f - recorrido de fricción

Para el estudio de la fricción vinculado al fenómeno de desgaste al considerar la gran importancia de su análisis y determinación como un elemento indispensable que define la interacción entre dos cuerpos se considera la teoría mecánico molecular la más

adecuada para el análisis del desgaste en particular a partir de su relación directa con las presión de contacto y la aplicabilidad de la misma.

La clasificación más general sobre los tipos de desgaste superficial de los cuerpos sólidos establece cuatro grupos:

A - Desgaste adhesivo: se le conoce además como desgaste por fricción o deslizante se produce por la adhesión molecular entre los cuerpos en contacto.

B - Desgaste por fatiga: es a causas mecánicas producto de tensiones variables y repetidas.

C - Desgaste mecánico-corrosivo: es el desgaste mecánico acelerado por la acción corrosiva del medio.

D - Desgaste abrasivo: es el desgaste mecánico como resultado de la acción de corte o rayado de asperezas de alta dureza o de partículas abrasivas.

También se consideran con frecuencia el desgaste erosivo resultado de la oxidación dinámica. En la práctica se ponen de manifiesto dos o más tipo de desgaste a la vez y en determinados momentos uno se puede transformar en otro.

Fricción seca

Es la fricción entre dos sólidos cuya interfase no está positivamente afectada por ningún tipo de lubricación aunque las superficies pueden estar contaminadas. La fricción seca se utiliza por lo general cuando ella es un proceso necesario para el movimiento o frenado. Para este estado el coeficiente de fricción varía en el rango de 0,1-0,8.

Desde el punto de vista de ingeniería la fricción seca tiene importancia para uniones mecánicas que trabajan bajo el principio de la fricción, como son: transmisiones por ruedas de fricción, transmisiones por correa, embragues y acoplamientos de fricción, frenos, uniones roscadas, guías, etcétera. También existen casos donde uniones como cojinetes de deslizamiento, articulaciones, guías, etc., deben trabajar en un estado de

fricción seca producto de las altas temperaturas de trabajo que no permiten el uso de lubricantes o para evitar que estos contaminen el producto fabril.

El sistema tribológico durante la fricción seca está constituido por tres elementos (Fig. 1):

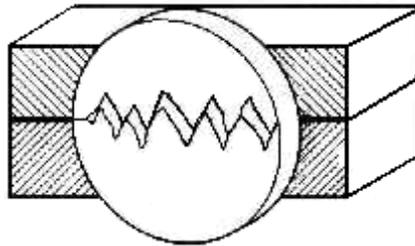


Fig.1 Modelo físico de la fricción seca

Dentro del estado de fricción no lubricado aparece la fricción entre superficies limpias, es decir, la fricción ocurre sin la presencia de capas de óxidos. En la práctica industrial este estado es poco común. El coeficiente de fricción en este estado resulta superior a 0,8 llegando a alcanzar valores tan altos como 10.

El contaminante puede ser: Capas de óxido capas de gases absorbidos, película de lubricante; en la Fig. se muestra de forma esquemática las capas contaminantes en una superficie metálica.

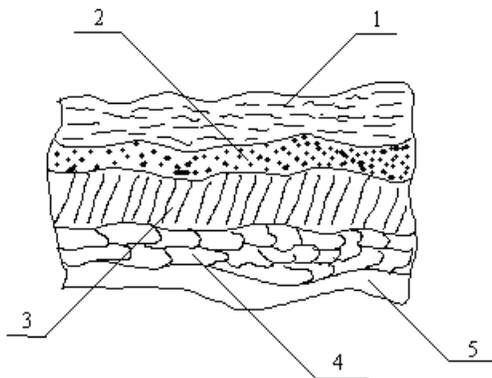


Fig. 2 Representación gráfica de una superficie contaminada

1. Capa absorbida
2. Capa fuertemente deformada con desplazamiento de la red cristalina
3. Granos fuertemente deformados por la acción de la carga
4. Estructura base del metal

La capa de óxido se produce por la reacción del metal con el oxígeno del aire. La formación de la misma es rápida y depende de la temperatura, así en menos de 5 min. a temperatura ambiente se forman capas de espesor de 100°A . Las propiedades de las capas de óxido difieren de las propiedades del metal base y su resistencia mecánica depende de la relación de dureza óxido/metal y del espesor de la misma.

La capa de gas absorbido presenta como principal constituyente molecular de vapor de agua y de oxígeno proveniente del medio.

La película de lubricante se forma causa a causa de la absorción de moléculas de lubricantes que se encuentran en suspensión en la atmósfera; producto del lubricante utilizado durante la elaboración mecánica de la pieza o grasa natural proveniente de las manos de los operarios.

La presencia de estas capas contaminantes asegura la existencia de la fricción externa la cual está condicionada a un gradiente positivo de las propiedades mecánicas hacia el interior del cuerpo.

Los no-metales presentan diferencias marcadas con relación a los metales. El problema de la contaminación de las capas superficiales de los no-metales es menos importante, no se produce el fenómeno de la oxidación y las diferentes películas absorbidas que puede en ciertas condiciones tener un efecto significativo, por lo general no altera las propiedades friccionantes de los no-metales.

Durante la fricción seca de un par de rozamiento constituido por no-metales el coeficiente de fricción cinemático varia $f = 0,4-0,3$, mientras que el coeficiente estático $f_0 = 0,6 - 0,4$. El daño de las superficies es mucho menor que en los pares metálicos.

Cuando el par de rozamiento está constituido por un no-metal y un metal, la fricción tiende a comportarse como la de los no-metales porque las partículas de desgaste del no-metal (material más blando) tienden a formar una capa en la superficie del metal al alojarse en los valles de las rugosidades.

Se puede afirmar que los no-metales en general cumplen las cuatro leyes básicas de la fricción.

Para el caso de la fricción seca se establecen en la actualidad cuatro leyes básicas:

- **Primera Ley:** La resistencia friccional es proporcional al área real de contacto la cual es función de la carga normal, las propiedades de los materiales y la rugosidad superficial. Esta constituye del 0,01 al 0,1 % del área nominal de contacto.
- **Segunda Ley:** La resistencia friccional es independiente del área geométrica de los cuerpos en contacto.
- **Tercera Ley:** La resistencia friccional es dependiente de la velocidad de deslizamiento, se reconoce sin embargo que en un amplio diapason de velocidad la fricción casi no varía.
- **Cuarta Ley:** La resistencia friccional depende de la naturaleza de los materiales en contacto: son los que un cambio de materiales en el sistema tribológico representa una variación significativa del coeficiente de fricción, aún cuando el resto de los parámetros permanezcan invariables.

La expresión matemática de las leyes elementales de la fricción según diferentes autores es:

$$f = \frac{\tau_s}{P_r} + K \left(\frac{h}{R} \right)^{0.5} \quad \text{Kragelski} \quad (7)$$

$$f = \frac{1}{P_r} [\alpha \cdot \tau_s + (1 - \alpha) \cdot \sigma] \quad \text{Bowden-Tabor} \quad (8)$$

$$f = \frac{\tau_s}{HB} + \text{tg } \theta \quad \text{Ernest-Mercherd} \quad (9)$$

Donde los términos de la izquierda definen la componente adhesiva y los de la derecha la componente mecánica de la fricción.

La primera y segunda ley tiene una marcada influencia sobre la componente mecánica de la fuerza de fricción. La tercera ley establece la dependencia de la fricción con la

velocidad de deslizamiento, y justifica la existencia de dos coeficientes de fricción: estático y dinámico. La cuarta ley está más relacionada con la componente molecular.

2. Propiedades de los suelos altamente abrasivos

Diseminados por el territorio se encuentran suelos calizos de diferentes variedades, los menos desarrollados se encuentran en la zona montañosa, mientras que en la llanura se destacan los arcillosos más desarrollados. Las provincias con suelos más productivos son La Habana y Ciego de Ávila; los menos productivos son Granma, Pinar del Río, Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo ocupan una posición intermedia Camagüey, Las Tunas, Cienfuegos, Sancti Spíritus, Matanzas y Villa Clara, en este sentido los suelos de mayor abrasividad en Cuba se encuentran ocupando un 30 % del área cultivable de la provincia de Pinar del Rio y en la provincia de Villa Clara se concentran fundamentalmente en los municipios de Santo Domingo y Manicaragua ocupando el 25 % y el 18 % respectivamente.

En la tabla 1 se puede apreciar la clasificación genética de los principales suelos cubanos que por sus características se consideran abrasivos.

Tabla 1. Clasificación de suelos

Agrupamiento	Tipo	Subtipo	Género	Variedad
<i>Ferralítico</i>	<i>F. cuarcítico amarillento rojizo lixiviado</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Típico 2. Laterizado 3. Humificado 4. Gleysoso 	<i>Desaturado < 75 %</i> - Esquistos - Esquistos micáceos - Materiales transportados y corteza de meteorización ferralítica	<i>Predominan los loams ligeros y los loams arenoso</i>
<i>Hidromórficos</i>	<i>Gley ferralíticos</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Típico 2. Concrecióna rio 3. Laterizado 	<i>Carbonatado</i> <i>Carbonatado lavado</i> - Materiales aluviales, deluviales - Materiales arcillosos transportados de regiones ferralíticas	<i>Predominan los loamosos</i>
	<i>Gley amarillento cuarcítico</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Típico 2. Concrecióna rio 	<i>Saturado > 75 %</i> <i>Desaturado < 75 %</i> - Materiales síliceos finos	<i>Predominan los arcillosos</i>

		3.Laterizado	transportados regiones cuarzoferralíticas	de	y loam pesados
--	--	--------------	---	----	-------------------

Suelos Ferralíticos:

Son suelos donde el proceso de ferralitización se caracteriza por una alteración intensa de los minerales, una eliminación de la mayor parte de las bases alcalinas y alcalinotérreas y una parte de la sílice, formación de minerales arcillosos del tipo 1:1, así como óxidos de hidróxidos de hierro y aluminio. El suelo formado a partir de esquistos pueden presentar minerales 2:1 e interestratificados en poca cantidad; en los suelos sobre calizas, en la zona de alteración de ésta, se puede presentar la montmorillonita.

Son suelos de perfil ABC con un contenido de materia orgánica de 2 a 5 % para el horizonte A; las CCC generalmente es < 20 cmol (+) · kg-1; el pH varía de ligeramente ácido a ácido y la relaciones moleculares son SiO₂: Al₂O₃ < 2 y SiO₂: R₂O₃ 1,3-1,6.

Se desarrollan esencialmente a partir de rocas calizas duras y esquistos, y , en menor grado, pueden formarse sobre rocas ígneas.

Tipo ferralíticos cuarcítico amarillo

Son suelos de perfil ABC o Abl formado a partir de esquistos cuarcíticos micáceos (generalmente con venas de cuarzo), en los cuales ocurre el proceso de ferralitización que conlleva a la formación de minerales arcillosos del grupo de las caolinitas y también y poco de vermiculita y clorita, así como óxidos de hidróxidos de hierro y aluminio que le confieren el color amarillo característico.

Durante la meteorización, el cuarzo proveniente de la roca madre se acumula en el perfil del suelo, lo que condiciona una textura arenosa. La relación SiO₂: Al₂O₃ en arcilla es menor que 2, aunque en los suelos erosionados aumenta hasta 2, mientras que la relación SiO₂: R₂O₃ siempre es menor que esta cifra.

La capacidad catiónica cambiante CCC es menor que 5 cmol kg-1, estando los suelos, por lo general, fuertemente desaturado, lo cual permite que el pH sea ácido (menor que 6) con predominio del aluminio en la acidez cambiante. Pueden estar o no lixiviado.

Presentan un porcentaje de huminas de 45-50 %, con una relación H-F de 0,4-0,5 que disminuye rápidamente con la profundidad (0,1-0,2). La relación C/N en suelos normales es mayor que 15 pero en los erosionados es de 10.

Tipo arenoso cuarcítico

Suelo formado por deposiciones arenosas silíceas con perfil AC o A (B) C, presenta a menudo una discontinuidad litológica a menos de 1 m. de profundidad (sobre cortezas caolinizadas o sobre arena fina).

Con evolución impedida por el poco tiempo de estabilización, la alteración física predomina sobre la alteración química. Presentan con frecuencia concreciones de cuarzo o hierro y están situados en topografía comúnmente llana. Son friables, porosos, sin estructura, con bajo contenido de materia orgánica y reacción ácida; la transición es poco notable entre sus horizontes.

Ferralíticos cuarcíticos amarillo rojizo lixiviado

Son suelos formados a partir de rocas metamorfoicas, esquistos micaceos con vetas de cuarzo, en los cuales ha ocurrido el proceso de ferratización y lixiviación de arcillas, de perfil ABC, con presencia de gravas ferruginosas magones de un 5 % y formación de una capa sub-yacente arcilloarenosa con un 35 a 40 % de arcilla profunda de color rojo amarillento.

La formación de esta capa subyacente es a causa de cambios texturales porque la fuente de lixiviación, pasando de 10 am arenoso ligero a 10 am pesado de arcilla, por lo que se considera que esta capa subyacente arcillosa es la responsable del mal drenaje interno de estos suelos.

El tipo de mineral arcilloso que se forma es del grupo de las coalinitas, presentando también formación gibsita, geobsita, interestratificaciones de clorita, vermiculita y además presencia de clorita en el horizonte C.

Las relaciones SiO_2/Al_2O_3 y SiO_2/R_2O_3 en arcilla son menores de 2.

La capacidad de cambio catiónico es baja, menor de 5 meg/100 g, con un grado de saturación mayor que el 40 %, lo que son fuertemente saturados, con un pH ácido (menor de 6).

Según Cairo y Quintero (1980) pueden ser medianamente desaturados, con capacidad de cambio básico entre 3-7 meg/100 g con pH entre 5 y 5,5.

El aluminio intercambiable predomina en la acidez cambiante del suelo, apareciendo tenores más altos del mismo en la superficie cuando los suelos están erosionados. Los subtipos que encontramos dentro de los ferralíticos cuarcíticos amarillo rojizo lixiviado son:

- Típicos.
- Laterizados.
- Humificados.
- Gleysozos.

Características generales:

- Color: En estos suelos el color rojizo predomina sobre el amarillo variado de (2,5 y 8/4 -8/6) pardo rojizo anaranjado claro y opaco que pasa a (2,5 y 8/8-7/3- /4) amarillo intenso anaranjado, amarillo grisáceo, amarillo opaco anaranjado a (2,5 y 8/8 - 7/3) amarillo intenso anaranjado, amarillo grisáceo.
- Profundidad: Son suelos profundos, su profundidad efectiva es limitada en muchas ocasiones por el conocimiento en la parte medio del perfil.
(PE es profunda % 25 y 50 cm).
- Drenaje: En los primeros horizontes es bueno con profundidad; se hace deficiente a causa del cambio textural, lo que hace que el agua se acumule. La evolución del drenaje general es de moderada a deficiente.

Características Químicas Generales

- PH CLK: 4,3-5,5
- Y1: < 3,0 meg/100 g.
- Y2: 1,0-2,0 meg/100 g.
- CCC: < 5,0 meg/100 g.
- Valor de V: < 75,0 %.
- Relaciones moleculares:

-SiO₂ 1,0-2,0

R₂O₃

-SiO₂ 1,0-3,0

AL₂O₃

-SiO₂ 10,0-15,0

F₂ O₃

- Contenido de hierro total: 10,0-15,0 %.
- Relación C/N: > 10
- Relación H/F: 0,3-0,5
- Relación Ca/Mg: > 4,0
- Contenido de materia orgánica: 2,0 %

Características físicas generales:

- Humedad hidrosfópica: 2,0-5,0 %.
- Elevación capilar: 200-250 Mm.
- Límite superior de plasticidad: 30,0-50,0 ml.
- Textura:

Área gruesa < 6,0 %.

Área fina }
Lima gruesa } 59,0-87,0 %

Lima fina } 5,0-12,0 %

Arcilla } 5,0-45,0 %

3. Tecnologías empleadas para el laboreo de suelos abrasivos

La compactación del suelo es un fenómeno que afecta a la mayoría de los países productores de caña de azúcar, obligándolos a emplear tecnologías y equipamientos que le permitan combatir sus nocivos efectos. Se comienza por la preparación de suelos, pasando por la cosecha hasta las labores de atenciones culturales posteriores a la misma, la mayoría de las tecnologías de preparación de suelos utilizadas con fines

de preservar el suelo reducen en gran medida la interacción entre los elementos suelo e implemento y este factor define a estas tecnologías como las más adecuadas para el laboreo en suelos de alta abrasividad.

La labor de preparación del suelo tanto en la agricultura cañera como no cañera tiene importancia capital a la hora de garantizar el hábitat y las condiciones adecuadas para el crecimiento y posterior desarrollo de las plantaciones. Motivo por el cual han surgido nuevas tecnologías que permitan cumplir con los requisitos de calidad y que a la vez posibiliten atenuar los daños causados por la compactación.

La tendencia mundial en cuanto a las tecnologías de preparación de suelos va hacia la implantación de sistemas de labranza que no incluyen la inversión del prisma del suelo y que reduzcan el número de labores, el laboreo localizado en el lecho de siembra y el empleo de equipos que sean capaces de combinar varias operaciones en una sola pasada, aunque todavía gozan de gran arraigo las tecnologías tradicionales que se basan en el laboreo total del suelo con inversión del prisma.

Dentro de las tecnologías de preparación abreviada del suelo o preparación rápida se agrupan aquellas que comprenden el laboreo sin inversión y las que localizan la acción de la labranza ya sea en el narigón o en el camellón.

Las referidas tecnologías presentan una gran cantidad de variantes tecnológicas que se acomodan a las condiciones naturales de cada país productor.

En la actualidad se ha difundido mucho una variante tecnológica que comprende el empleo de órganos subsoladores provistos de saetas laterales o aletas, resultando en un incremento de la productividad de los agregados en comparación con la tecnología tradicional. La mayoría de los países que se han acogido a esta variante han creado implementos de gran versatilidad, capaces de realizar un conjunto de operaciones en un solo pase.

En Cuba esta variante ha sido generalizada por el Instituto de Mecanización Agropecuaria del Ministerio de la agricultura (IIMA). La misma comprende el laboreo total del suelo sin la aplicación de herbicidas, pudiendo ser complementada o no por

Métodos de restauración de implementos de labranza..... 20
implementos tradicionales, según el estado del suelo, fechas de siembra y cantidad de malezas.

Como implemento fundamental se utilizan los Multiarados en cualquiera de sus variantes (M 250 C; M 330, M 410), aunque en estos momentos el equipo de mayores posibilidades es el M 250 C que puede realizar varias operaciones con diferentes aditamentos y posiciones de regulación. El mismo puede subsolar, descepar, arar y surcar en caso de que el cultivo lo requiera.

Otra de las variantes tecnológicas de mayor acogida internacionalmente es la que se basa en el laboreo localizado de la zona de desarrollo radicular. Permitiendo concentrar la acción de la labranza en la franja donde se desarrolla la planta.

Para la destrucción de las cepas viejas en la mayoría de los casos se emplean medios químicos, aunque esta labor también se puede realizar mediante el empleo de los medios mecanizados. El resto del área se descompacta mediante el empleo de cultivadores o subsoladores dentro de las labores de atenciones culturales.

El equipamiento utilizado varía en dependencia de las condiciones de cada país, siendo los más empleados el Landquick (sudafricano), las fresas o rotobatores, los subsoladores (rectos, curvos) y las máquinas complejas diseñadas específicamente para estas labores.

En Cuba el laboreo localizado el cual reduce en gran medida la interacción de la herramienta con el suelo en las diferentes atenciones agrotécnicas ha sido implementado fundamentalmente en el cultivo de la caña de azúcar en tres formas básicas de aplicación de acuerdo con el principio de trabajo empleado, siendo:

Laboreo localizado mecánico

Se realiza la elaboración mecánica de la franja ocupada por las cepas viejas. Cuando se necesita cambiar de variedad la elaboración de la calle debe realizarse en dos pasos, correspondiendo el primero al corte de las cepas.

Laboreo localizado químico

Es un caso especial del laboreo localizado porque se elabora y surca el centro de la calle y no la banda ocupada por las cepas viejas, las cuales se eliminan por medios químicos, antes o después del surcado, cuando tengan una altura de 40 ó 50 cm.

El laboreo combinado se ejecuta cuando se quiere combinar la distancia entre hileras, previéndose una o dos operaciones con equipos convencionales par eliminar la vieja plantación, la eliminación de las cepas se realiza de forma similar al caso anterior.

La variante más difundida en Cuba se fundamenta en el laboreo con el implemento multipropósito C-101, el cual corta el suelo bajo la acción de un grupo de órganos de trabajo que actúan en una misma hilera a profundidades que se incrementan progresivamente. El último órgano de trabajo interactúa con el fondo del surco. El empleo de escarificador C101 en el laboreo localizado a dado buenos resultados en sentido general, aunque en el Oriente del país se han desarrollado variantes tecnológicas que comprenden el descepe y descompactación del suelo con el escarificador C-101 y la mullisión y surque con el rotobator RM-102. Los resultados en cuanto a rendimiento y mejora de las condiciones del suelo se catalogan de buenos.

Otra variante que se ha introducido en el país para el laboreo de los suelos cañeros es la que comprende la destrucción de la cepa por medios químicos, la mullisión y descompactación del suelo con el Howard Landquick y el surque con implementos tradicionales.

La labranza cero es una nueva tecnología que se está utilizando en el mundo para la conservación de los suelos el principio básico de esta labranza es el de menor intervención en el suelo, manteniéndolo lo mas protegido posible a lo largo del año. La amplitud de este concepto implica la rotación de cultivos con la intercolación de cultivos en áreas de cultivos perennes con su complementos para el reciclaje de nutrientes y la formación de paja; abonando las prácticas de aradura, gradaje y deshierbe mecánico, abonando y plantando las semillas o plantas de viveros, con el mínimo posible de interferencia en ese suelo y en la paja de cobertura protegiéndolo a lo largo de todo el año. Aquí se constatan las ventajas de esta tecnología para todas las actividades relacionadas con la explotación agropecuaria, en cultivos temporales o perennes,

especialmente para las condiciones subtropicales en el que el movimiento y manejo de los suelos guardan estrechas correlaciones con los procesos de degradación de estos.

4. El desgaste de los medios de labranza de suelos

En la definición del tipo de desgaste presente en los implementos de labranza y la medida de su magnitud inciden una serie de factores los cuales podemos dividirlos de la forma siguiente:

1. Las condiciones de explotación: se determinan por la carga aplicada, la velocidad, la temperatura del proceso, los tipos de movimiento, el tipo de fricción, el recorrido de fricción y el tiempo de trabajo entre otras.
2. Características de los cuerpos en contacto: se valora el tipo de material, la composición química, la dureza, las dimensiones y formas, la microgeometría superficial así como la microestructura.
3. Las características del medio: se refiere a la humedad, la atmósfera corrosiva, la presencia de partículas abrasivas y las propiedades del lubricante si se aplica.

La causa de la sustitución del 85 % de los elementos de la maquinaria agrícola es considerada como resultado del desgaste abrasivo, principal factor del desgaste, la modificación de las capas superficiales de los cuerpos producto de la acción de partículas de alta dureza al deslizarse sobre la superficie metálica da lugar a la pérdida volumétrica y con ello a la disminución de la capacidad de uso del implemento u órgano de trabajo.

Si se consideran un grupo de factores como la forma y dimensiones de las partículas abrasivas, la relación de dureza respecto a la herramienta, la resistencia mecánica y las condiciones del medio y de trabajo así como la carga aplicada, el desgaste abrasivo se puede manifestar a partir de diferentes mecanismos:

A. Mecanismo de microcorte: si la penetración de la partícula abrasiva o aspereza sobrepasa determinado valor; si la partícula presenta cantos vivos; si la dureza del

abrasivo es superior a la del material y si se sobrepasa el límite de rotura del material se produce el microcorte de las superficies, generándose partículas de desgaste en forma de limallas o virutas.

B. Mecanismo de deformación plástica: si las partículas son pulidas, tensiones por debajo del límite de rotura del material, bajo grados de penetración, se produce la deformación plástica de las capas superficiales, que traen como consecuencia la ralladura, arrugado de la superficie con poca generación de partículas de desgaste.

En dependencia del grado de libertad del grano abrasivo se distinguen dos tipos fundamentales de desgaste:

1. Desgaste contacto-abrasivo: producido por las asperezas o microirregularidades superficiales al penetrar y deslizarse sobre el otro cuerpo, conocidos también como desgaste por partículas fijas.

Producto de la carga normal y en dependencia de las propiedades mecánicas de los cuerpos sólidos en contacto se produce la penetración de las asperezas del cuerpo

más duro o resistente en las capas superficiales del cuerpo menos duro o resistente.

Al producirse el movimiento relativo y debido a que las tensiones producto de la carga normal sobrepasan el límite de resistencia del material menos resistente se produce el microcorte de la superficie.

La magnitud del desgaste contacto-abrasivo depende de la rugosidad superficial del cuerpo duro y de las propiedades mecánicas del cuerpo blando.

2. Desgaste contaminante-abrasivo: Producido por la acción de partículas libres, proveniente de diferentes medios las cuales deforman plásticamente y/o cortan las capas superficiales.

Al desgaste contaminante abrasivo se le denomina simplemente desgaste abrasivo por ser la forma más difundida de designarlo.

La resistencia al desgaste se incrementa con el aumento del contenido de carbono y de la dureza del material, así como la inclusión de pequeñas cantidades de elementos aleantes (níquel, cromo, silicio, magnesio, etc.). Se establece que el contenido de carbono hasta un valor de 0,8 % influye en la resistencia al desgaste; para mayores contenidos ésta comienza a disminuir. Los aceros con una alta cantidad de austenita retenida presentan una considerable resistencia al desgaste en masa abrasiva.

Se establece que para partículas abrasivas con tamaños superiores a 1 mm se produce el desgaste abrasivo lo que significa la existencia en la mayoría de los casos. Otro factor de importancia es la relación dureza de las partículas abrasivas (H_a) y dureza del material (H_m); así cuando $H_m/H_a < 0,5$ se produce el desgaste mecánico por microcorte y cuando $H_m/H_a > 0,7$ se produce deformaciones plásticas y la separación de material ocurre después de un gran número de ciclos de trabajo (fatiga superficial).

Las partículas abrasivas de origen mineral se encuentran en altas cantidades en los suelos [48,70]; así por ejemplo el óxido de sílice (arena de cuarzo) constituye entre el 40-60 % de los suelos cubanos.

El incremento de la resistencia al desgaste en masa abrasiva si $H_m/H_a < 0,5$ se logra aumentando la dureza del metal (H_m) hasta valores que no afecten el trabajo del elemento de máquina desde el punto de vista de su resistencia con la fragilidad o impacto. No es aconsejable que la relación de dureza sea muy superior a 0,76 ya que no se obtienen resultados satisfactorios.

Dentro de los factores que influyen en el desgaste abrasivo de las máquinas agrícolas en países tropicales se establecen los siguientes:

1. Contacto con el suelo: el suelo puede concebirse como un sistema de tres fases: fase sólida (materia mineral y orgánica), fase líquida (agua o solución del suelo) y fase gaseosa (aire del suelo). Existen, sin embargo, otros constituyentes presentes en todos los suelos: la materia mineral, 45 %; la materia orgánica, 5 %; el aire, 25 % y el agua, 25 %. Por los minerales constituir el 45 % de los constituyentes del suelo reviste vital importancia su estudio. Dentro de las propiedades físico-mecánicas de los mismos encontramos la dureza y tenacidad aspectos estos que influyen considerablemente en

la intensidad del desgaste de los elementos de máquinas que están en contacto con ellos.

2. Condiciones climáticas: las precipitaciones atmosféricas son relativamente abundantes y regulares con promedio anual de 1 360 mm. La humedad relativa es alta con valor promedio de noviembre-abril del 77 % (época seca), mayo-octubre del 81% (época húmeda), para una media anual de 79 %. La temperatura oscila entre 10 °C y 35 °C dando una media anual de 24 °C, en invierno de 21 °C y en verano de 27 °C.

3. Contacto con las plantas y frutos: diversas son las plantas y los frutos que están en contacto directo con los órganos de trabajo de las máquinas agrícolas, este amplio grupo poseen características físicas y composiciones químicas muy perjudiciales en relación con el deterioro progresivo del material.

Los principales elementos de trabajo de las máquinas agrícolas que sufren desgastes abrasivos producidos por los factores antes mencionados son [18]:

1. Arados de vertederas en la cuchilla rotatoria, la anterreja, la costanera, la reja y los discos.
2. Los cultivadores en los escardillos, púas y rejas.
3. Los surcadores en el machete.
4. Las gradas en las púas y los discos.
5. Los escarificadores en las rejas y el cincel.
6. Las fresas en las cuchillas, ganchos, rodillos, discos y anillos.
7. El multiarado en las rejas y cuchillas.
8. Las multilabradoras en las rejas, cuchillas y surcadores.
9. Las cosechadoras de cereales en los segmentos de corte, los dedos del molinete, el cóncavo, las cribas de limpieza y los transportadores sin fín.
10. Las cosechadoras de caña en los segmentos de corte inferior, los transportadores, el aparato trozador y el patín.

La figura 1 muestra algunos ejemplos de órganos de trabajo que han sido objeto del desgaste por abrasión del suelo, los cuales se mantienen en activo en la producción a pesar de su alto grado de deterioro.



Figura 1. Órganos de trabajo desgastados

Las medidas fundamentales que se toman durante la explotación de las máquinas agrícolas para disminuir la incidencia del desgaste abrasivo son las siguientes [18]:

1. Aumento de la dureza de las capas superficiales de los elementos de máquinas.
2. Incremento del contenido de carbono y de carburos duros hasta un por ciento determinado en dependencia del material.
3. Control de la relación de dureza metal-abrasivo (Hm/Ha).
4. Selección adecuada del ángulo de ataque del implemento en dependencia de los materiales utilizados.
5. Disminución de las cargas y velocidades de trabajo.

Para contrarrestar el efecto del desgaste abrasivo se ha trabajado en dos direcciones principales:

- A. Búsqueda y experimentación de nuevos materiales.

B. La aplicación y desarrollo de nuevas tecnologías.

Dentro de las tecnologías que se han valorado en estos últimos años para contrarrestar el desgaste abrasivo en las máquinas agrícolas se destacan: temple isotérmico, tratamientos termomecánicos, Deposición electrolítica, deposición por fusión de aleaciones duras para formar elementos bimetálicos, tratamientos termoquímicos, temple superficial, tratamiento superficial por luz solar concentrada, entre otros.

Las investigaciones en Cuba dirigidas a la reducción del daño provocado por el desgaste en los implementos de labranza han estado divididas en dos direcciones fundamentales, la primera de ellas encaminada hacia la construcción de los implementos de labranza a partir de una selección de aceros y tratamientos térmicos lo que sugiere utilizar aceros como el Y8A y el 60C2A o similares para la construcción de discos de gradas, escarificadores y otros elementos [46]. Este trabajo toma como medio, para la determinación de la resistencia al desgaste abrasivo del suelo pardo tropical que a pesar de ser el más representativo no es el más abrasivo y propone materiales relativamente caros. La segunda dirección que han estado dirigido los trabajos investigativos ha sido el relleno con soldadura por arco eléctrico de las partes más sometidas al contacto con el suelo de los implementos. A escala mundial se ha estudiado la fabricación de nuevas aleaciones con propiedades antifricción y resistentes al desgaste [96,108] a partir de obtener en la estructura un mayor número de carburos. El ensayo de estas nuevas aleaciones ha logrado incrementar de manera eficaz la vida útil de los implementos de labranza.

Las operaciones de labranza requeridas para el cultivo de la caña se realizan fundamentalmente con aperos producidos en el país, los cuales se emplean en las labores de preparación y acondicionamiento de suelos, así como las de cultivo. En determinados casos se emplea la tecnología de labranza con inversión del prisma o laboreo total del suelo. Existe una tendencia al empleo de las tecnologías de labranza mínima o labranza localizada, sin inversión del prisma de suelo, en la tabla 4 se relacionan los principales implementos utilizados.

Tabla 4. Principales labores e implementos en el cultivo de la caña

Actividad	Implementos	Periodo activo
Preparación del suelo	Grada pesada 14 000	Enero-Marzo
	Grada fina 4 500	
	Grada fina 2 200	
	Multiarado MAU 250	
	Arado ADI-3	
Surque	Guía de Agua	Julio-Agosto
	Surcador Rome	
Cultivo y fertilización	Cultivador SP 240	Nov-Enero
	Grada Múltiple	
	Fertilizador F350	
Descompactación	Subsoldaro Bayamo 81	Febrero-Abril
	Subsolador C101	

La totalidad de estos implementos están sometidos a un desgaste intensivo de sus órganos de trabajo (Fig. 2), lo que afecta considerablemente la calidad de la labor que realizan.



Fig. 2. Desgaste de los órganos de trabajo de los implementos de labranza**5. Indicadores para la determinación del desgaste**

La determinación cuantitativa del desgaste ha sido de interés para la mayoría de los tribólogos de diferentes épocas ya que ello permitiría incorporar a los cálculos de diseño el efecto de la fricción y el desgaste, sin embargo este es un problema no resuelto en la actualidad debido en lo fundamental a que sobre ambos influyen toda una serie de factores relacionados con las condiciones de explotación, la naturaleza de los cuerpos en contacto y las condiciones del medio.

Los avances alcanzados por la tribología han establecido determinados parámetros que caracterizan al desgaste. Estos parámetros se reconocen como indicadores del desgaste y permiten evaluar, estudiar, caracterizar y diagnosticar el desgaste. En dependencia del método empleado para la determinación de los valores absolutos del desgaste el mismo puede ser: lineal(W_h), gravimétrico(W_g) o volumétrico (W_v).

El desgaste de los elementos de máquinas se produce con o sin pérdida de material, es por ello que la evaluación de la magnitud del mismo se puede cuantificar o expresar por diferentes indicadores:

Desgaste lineal ($W_h, \mu m$): Se utiliza cuando los valores absolutos del desgaste son de medianos a altos y está fundamentado en la medición de las dimensiones de las piezas antes y después del ensayo de desgaste. La exactitud de este método depende la de calidad de los medios de medición que se utilicen. Para la determinación de los valores absolutos del desgaste mediante este método se utilizan instrumentos tales como calibres interiores y exteriores, dispositivos mecánicos de palancas, dispositivos ópticos, microscopios instrumentales y universales, pasámetros, bloques planos paralelos, micrómetros exteriores e interiores, indicadores de carátula etcétera. Conociendo el desgaste lineal se determina la intensidad lineal del desgaste (I_h).

$$I_h = \frac{W_h}{S_f} \quad (10)$$

Desgaste volumétrico (W_v, mm^3): Este se fundamenta en la medición del volumen antes y después del proceso de desgaste. Es también usado con frecuencia y al igual que el indicador anterior requiere de medios de medición de alta precisión. Este generalmente se determina partiendo del indicador lineal del desgaste.

$$W_v = W_h A_n \quad (11)$$

Desgaste gravimétrico (W_g, mg): Este indicador generalmente se utiliza para la determinación del desgaste de piezas de pequeñas dimensiones las cuales se pesan antes y después del desgaste. Antes del pesaje las piezas deben ser lavadas y secadas para eliminar partículas, polvos, productos de desgaste, grasas y otros.

El grado de exactitud de este método depende de la exactitud de las balanzas. Este método no se recomienda en los casos que las dimensiones de las piezas cambian no solo como resultado del desprendimiento de partículas de la superficie de los materiales sino también porque las deformaciones plásticas, también determinan el desgaste de materiales porosos bajo regímenes de fricción lubricada. La intensidad del desgaste se determina como:

$$I_g = \frac{W_g}{S_f} \quad (12)$$

En la práctica industrial resulta beneficioso transformar el desgaste gravimétrico (perdida de masa) a desgaste lineal (variación de dimensiones). Lo anterior se basa en el hecho de que en la mayoría de los casos los pares tribológicos están formados por materiales de diferentes pesos específicos. Por consiguiente la relación entre el indicador gravimétrico y lineal del desgaste se expresa en la ecuación 4.4.

$$I_g = I_h = \frac{W_g}{A_n S_f 10^8 \gamma} \quad (13)$$

donde:

W_g - desgaste por diferencia de peso (mg)

A_n - área normal de la superficie de contacto (cm^2)

γ - peso específico del material g/cm^3

S- Recorrido de fricción en Km

El método de diferencia de peso no se recomienda utilizar en aquellos casos donde el desgaste no es solo como consecuencia del desprendimiento de partículas sino también a causa de deformaciones plásticas.

Intensidad energética del desgaste (I_e): La intensidad energética del desgaste se utiliza fundamentalmente para evaluar materiales de frenos, embragues, etcétera. Esta relaciona el desgaste volumétrico y el trabajo de fricción.

$$I_e = \frac{W_v}{F_f \cdot S_f} \quad (\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}) \quad (14)$$

Resistencia al desgaste (W_d): Es la capacidad de un material de ofrecer resistencia al desgaste y se determina como el inverso del desgaste. Se puede señalar que la misma dependerá del tipo de indicador que se haya utilizado para medir el desgaste (W_h , W_g , W_v).

$$W_d = \frac{1}{W} \quad (15)$$

Resistencia relativa al desgaste (W_r): Es la relación que existe entre el desgaste de la muestra que se está ensayando y el patrón de referencia que puede ser el establecido por la norma o el tomado como referencia durante los estudios.

$$W_r = \frac{W_m}{W_p} \quad (16)$$

Velocidad o razón de desgaste (W'): A través de este indicador se mide el ritmo del proceso de desgaste y no es más que la relación que existe entre el desgaste y el tiempo en que este ha tenido lugar.

6. La fiabilidad y el mantenimiento

Para poder conseguir los elevados índices de seguridad que normalmente son exigidos a los equipos productivos, se requiere de diseñadores, fabricantes y responsables de mantenimiento el conocimiento de cuatro factores que se hallan íntimamente interrelacionados y ligados entre sí:

- La fiabilidad como objetivo para alcanzar la seguridad y la regularidad de las operaciones.
- El mantenimiento de los equipos y componentes, como medio para alcanzar la fiabilidad.
- La mantenibilidad como medida de ponderación de la dificultad de mantenimiento en el sentido de que éste puede cumplimentarse dentro de un tiempo permisible.
- El apoyo logístico al mantenimiento, ya que su efectividad está directamente influida por la disponibilidad de los conjuntos, componentes y elementos (piezas).

Por otra parte, la organización del almacén de repuestos ha estado enfocada mayoritariamente en la disponibilidad inmediata de los mismos y en aspectos o variables tales como tiempo medio de vida de las piezas en funcionamiento, número total de referencias, coste de los *stocks*, espacios ocupados, etcétera.; elementos todos ellos muy importantes para conocer el coste que genera el sostenimiento del almacén de repuestos, y a los que no siempre se les ha prestado la atención que se debiera. En este sentido, la gestión de los repuestos debe estar basada fundamentalmente, en el conocimiento de la fiabilidad de los conjuntos, componentes y elementos que están en funcionamiento y del mantenimiento por aplicar; hechos que permiten determinar la cantidad que de los mismos se debe estocar para poder optimizar su gestión, y así asegurar las disponibilidades inmediatas de los equipos cuando éstos precisen de la correspondiente mantenibilidad.

El mantenimiento, entendido como un conjunto de actuaciones orientadas a corregir mediante una conservación adecuada el desgaste que por el uso se produce en las instalaciones (equipos productivos, elementos o sistemas), se lleva a cabo por medio las pertinentes reparaciones de las averías que se producen o por la acción preventiva. En definitiva, se trata de dotar al sistema productivo de un grado de fiabilidad razonable que permita su disponibilidad para atender los requerimientos de la producción.

Los tipos de mantenimiento que generalmente se contemplan son: correctivo, preventivo y predictivo, siendo éste último en muchos casos, considerado como un preventivo basado en inspecciones o en la condición. La optimización del mantenimiento pasa por encontrar el equilibrio entre ellos, aplicándolos sólo donde y cuando resulten adecuados y necesarios, eliminando cualquier exceso de mantenimiento. La combinación de los mismos debe conseguir minimizar y dominar las causas que producen deterioro en un sentido amplio.

Se debe aplicar el mantenimiento que permita aumentar la fiabilidad de los equipos que lo componen. Dado que los parámetros de la distribución nos determinan una tasa de fallos creciente, consideramos que la forma más adecuada para responder a ello, es aplicar un mantenimiento preventivo, el cual nos determinará el tiempo medio entre fallos, la vida media, así como el tiempo medio entre revisiones en función del nivel de fiabilidad que queramos alcanzar. La elección del tipo de mantenimiento debe estar relacionada con el tipo de distribución de fallos que presenta el sistema, pues aplicar un mantenimiento preventivo a un sistema que falle exponencialmente, no solo es inútil sino que puede ser contraproducente, pues existe el peligro de sustituir una pieza sin avería y con una determinada tasa de fallos, por otra nueva, que como tal pueda presentar fallos infantiles o precoces, si no se ha sometido a un control inicial.

Por otra parte, conocida la tasa de fallo y el horizonte temporal que se desea cubrir con el nivel de repuestos, se podrá cuantificar el *stock* de los mismos el cual vendrá condicionado por los parámetros del tipo de mantenimiento elegido.

Ya que el mantenimiento elegido es del tipo preventivo se indicará una serie de recomendaciones que deben tenerse presentes a la hora de su implantación. Para ello deben especificarse:

- los elementos a inspeccionar,
- la frecuencia de visitas,
- las operaciones a realizar.

Estas consideraciones nos llevan a que debe fijarse un tiempo de revisión para todos aquellos equipos cuya fiabilidad disminuye con el tiempo con el objeto de paliar su envejecimiento o desgaste y quedar solamente sujetos a los fallos por azar. En este sentido, cuando hay establecido un plan de mantenimiento preventivo para períodos

concretos de tiempo, también será necesario en ocasiones, aplicar un mantenimiento correctivo para los fallos que se producen por este concepto.

En cuanto a las formas en que puede realizarse el mantenimiento preventivo, se puede decir que hay tres claramente diferenciadas.

1. revisión de componentes “a potencial fijo”,
2. revisión de componentes “según condición”,
3. revisión de componentes “por control de actuaciones”.

En el mantenimiento preventivo “a potencial fijo”, los intervalos de tiempo entre revisiones son iguales para reemplazar el componente (antes de haber fallado), por otro nuevo o revisarlo cuando se alcance una vida de servicio límite a favor de la fiabilidad. En esta situación, el componente se restaura a “cero horas” o “cero ciclos” después de la revisión.

En el mantenimiento preventivo por revisión de componente “según condición” los componentes se inspeccionan periódicamente y se les efectúa revisión cuando su estado excede de los límites especificados para que puedan garantizar un adecuado funcionamiento.

Es un tipo de mantenimiento que se aplica para componentes eléctricos y electrónicos, facilitando su desmontaje y montaje por su configuración modular, como es el caso de los componentes de instrumentación y control modernos.

El “control de actuaciones” no es realmente un sistema preventivo de fallos aún cuando las acciones de mantenimiento que se deriven de este control, como pueden ser desmontajes de componentes, deben considerarse como no programados. Es decir, se efectúan porque el componente ha fallado o se halla muy próximo a ello.

La aplicación más apropiada de este tipo de control aparece en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o aquellos para los cuales no hay forma de predecir los fallos. Componentes típicos de este grupo se encuentran en los equipos de comunicaciones, especialmente en unidades transistorizadas.

En el caso concreto de mantenimiento de componentes “a potencial fijo”, éste tiene las siguientes características:

- a) El componente deberá desmontarse antes de fallar.

b) Los intervalos de tiempo entre revisiones son iguales para reemplazar el componente por otro nuevo o revisado cuando se alcance una vida límite en servicio a favor de la fiabilidad.

c) El componente se restaura a “cero horas” o “cero ciclos” después de la revisión. Las horas se refieren normalmente al tiempo de funcionamiento acumulado del equipo, mientras que los ciclos, al número de arranques o veces de comienzo de su puesta en servicio.

Los valores de la fiabilidad, para un mismo tiempo de funcionamiento, dependen principalmente de la tecnología funcional del componente .

Esto es, si el componente responde a una tecnología eléctrica, electrónica, electromecánica, mecánica, lo que condiciona la política de mantenimiento a seguir para obtener una tasa de fallo constante y de esta forma solo pueden ocurrir imprevisiblemente, es decir, por azar y no por adaptación inicial (fallos infantiles) o por desgaste (envejecimiento).

La teoría de fallos y la experiencia demuestran que aquellos responden por lo general a una de las distribuciones probabilísticas que comentaremos en el apartado siguiente de este trabajo y que la mayor parte de los componentes responden también de acuerdo con su tecnología funcional, como hemos indicado en el párrafo precedente. Finalmente consideramos que aunque en nuestro trabajo hayamos elegido como ideal el mantenimiento preventivo como consecuencia de la distribución de fallos que sigue el sistema, actualmente el enfoque del mantenimiento se ha centrado en maximizar la capacidad que sobre el mismo posee una organización, promoviendo actividades del grupo en toda ella, al objeto de mejorar el rendimiento de los equipos, todo bajo un sistema integrado de gestión, que garantice la continuidad y la calidad de la producción, la seguridad de las personas, así como del medio ambiente; enfoque que gira bajo la denominación de *Mantenimiento*.

7. Recargue con soldadura automática por arco sumergido

Dentro de los métodos de fabricación y recuperación de piezas la soldadura automática por arco sumergido ha ido ganando terreno por su sencillez, versatilidad y rapidez

[14,19]. Con este método de soldadura se obtienen capas de metal depositados de diferente composición química y fuertemente adheridas al metal base.

La soldadura automática por arco sumergido es un método ampliamente utilizado en la recuperación de árboles de levas, cigüeñales, rodillo del tren de rodamiento de los bulldozer entre otros elementos de máquinas [14].

Este método dio un gran paso de avance respecto al método de soldadura manual y entre sus principales ventajas se encuentran [40,41]:

- Elevada productividad
- Altas propiedades mecánicas son motivo de que el arco se encuentra bajo una capa de fundente líquido la cual está cubierta por una capa de fundente granulado que protege el cordón del oxígeno del medio.
- Economía del alambre, ya que este es suministrado de forma automática por medio de un carrete evitando los sobrantes y las salpicaduras.
- La vista del soldador no sufre las consecuencias de la exposición al arco de soldadura.
- Posibilita la variación del diámetro del alambre de 2 mm a 13 mm.

A pesar de sus ventajas este proceso posee limitantes como son:

- requiere de una preparación más rigurosa de las piezas,
- las posiciones para realizar las soldaduras son limitadas,
- se necesita ajustar los parámetros de soldadura con relación a las planchas a soldar.

Para la obtención del cordón de soldadura con calidad es necesario que sobre el metal líquido haya una capa de fundente con un espesor entre 25 y 40 mm, también el alambre debe sobresalir entre 20 y 60 mm de la boquilla. El fundente debe tener una temperatura de fusión menor que la temperatura de fusión del metal de unos 200 a 300° C [14].

El relleno superficial con SAW posibilita depositar grandes cantidades de metal con determinado espesor del cordón y con la menor variación de este.

Existen varias formas de combinar el alambre y el fundente como son:

- alambre aleado con fundente no aleado,
- alambre aleado con fundente aleado,
- alambre no aleado con fundente aleado.

El último método es el más económico ya que es el fundente quien aporta los elementos aleantes al cordón.

En el recargue por arco sumergido son empleados principalmente los fundentes fundidos y los aglomerados, estos últimos presentan la ventaja de aportar los elementos de aleación.

Durante el recargue con SAW está limitado el aumento de la eficiencia con el aumento de la intensidad de la corriente, esto trae consigo que se incremente la profundidad de penetración con el peligro de perforar y producir cambios estructurales en la pieza así como mayor dilución con el metal base [40,41].

Las formas posibles de aumentar la eficiencia son:

- utilizando cinta electrodo,
- con electrodos múltiples,
- con arcos múltiples,
- con oscilación transversal del electrodo.

En el recargue con cinta electrodo se pueden efectuar depósitos de hasta 100 mm de ancho en un pase con pequeñas profundidades de penetración.

Con electrodos múltiples se utiliza más de un electrodo conectado a un polo de la fuente de corriente. Con arcos múltiples cada electrodo tiene conexión independiente a la fuente.

El recargue con oscilación transversal del electrodo da una pequeña profundidad de penetración con anchos de depósitos de 30 a 40 mm en un pase, este es utilizado en piezas cilíndricas y planas [19].

De estos métodos los más utilizados son el recargue con cinta electrodo y electrodo múltiple porque la posibilidad de emplear corrientes elevadas y poca profundidad de penetración hace obtener depósitos suficientemente anchos.

7.1. Particularidades de los fundentes cerámicos y fundidos

El fundente tiene como objetivo la obtención de un metal depositado con composición química y propiedades mecánicas que cumplan con los requerimientos tecnológicos de la pieza. El fundente debe garantizar un arco estable, evitar la formación de poros y grietas, formar una escoria fácil de eliminar, debe dar la menor cantidad posible de desprendimiento de gases y humos así como un alto grado de desoxidación, afino del

grano y aleación [82]. Cada fundente incorpora propiedades específicas según lo requiera cada caso.

Los fundentes para SAW pueden ser fundidos o cerámicos.

Los componentes que integran el fundente fundido se obtienen al fundir en un horno eléctrico mezclas de minerales (aluminosilicatos de calcio y manganeso, fluorita, rutilo, etcétera), a una temperatura de 1500 a 1600 °C y luego enfriarlos en agua [13,23]. Los granos obtenidos tienen forma de vidrio molido. Este fundente tiene la desventaja que está constituido por un sistema de óxidos-sales sin carga aleante, es por esto que este tipo de fundente es empleado fundamentalmente en los procesos de soldadura y no en el recargue.

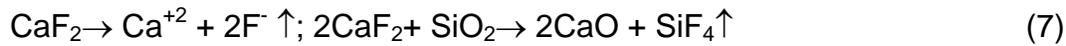
Para usar el fundente fundido en el recargue hay que combinarlo con alambres aleados. Entre sus ventajas se encuentran la buena homogeneidad química y la poca higroscopicidad lo que hace más fácil su manejo y almacenamiento, este fundente tiene como otra ventaja que permite utilizar altas velocidades de soldadura.

Los fundentes cerámicos están formados por una matriz que representa del 60 al 80 % de la masa total y el resto la carga aleante [65,27]. La matriz se forma con mezclas de minerales, óxidos y sales; esta matriz determina las propiedades físicas del fundente así como el intervalo de temperatura de solidificación y la estabilidad del arco entre otros parámetros.

Como carga aleante se utilizan las ferroaleaciones, carburos y elementos metálicos que cumplen las funciones de lograr la aleación y desoxidación del baño metálico, estas mezclas son aglutinadas con silicato sódico o potásico o en la mezcla de ambos, esta mezcla se calcina en el horno sin reducir la actividad metalúrgica de los componentes de la carga aleante.

Propiedades químicas de los fundentes

La basicidad es una de las propiedades químicas del fundente, la interacción química del fundente, al fundirse con el metal de la costura, en gran medida, la determina, la relación de los óxidos ácidos, básicos y anfóteros en su composición [82]; en los fundentes los fluoruros y cloruros se consideran generalmente compuestos neutros, estos no reaccionen con otros elementos químicos del fundente formando compuestos volátiles:



El Ca y el CaO de la ecuación (7) se consideran la parte básica que queda en la escoria o fundente.

La basicidad se valora sobre la base de la relación de sus óxidos según la teoría molecular de las escorias en relaciones molares o porcentuales, hasta el presente se conocen 34 ecuaciones con ayuda de las cuales se puede considerar en mayor o menor medida la posibilidad de dar un criterio sobre la basicidad del sistema de escoria o de la matriz del fundente [76]. Estas fórmulas pueden dividirse en dos grandes grupos: a) las basadas en la Teoría Iónica de las escorias, b) las basadas en la Teoría Molecular de las escorias.

Para el primer grupo de fórmulas son características las siguientes [45,20]:

$$B = N_{\text{CaO}} + N_{\text{MgO}} + N_{\text{MnO}} + N_{\text{FeO}} - N_{\text{SiO}_2} - N_{\text{P}_2\text{O}_5} - N_{\text{Fe}_2\text{O}_3} - N_{\text{Al}_2\text{O}_3}; \quad (8)$$

$$N_{\text{O}^{2-}} = N_{\text{CaO}} + N_{\text{MgO}} + N_{\text{MnO}} + N_{\text{FeO}} - 2N_{\text{SiO}_2} - 3N_{\text{P}_2\text{O}_5} - N_{\text{Fe}_2\text{O}_3} - N_{\text{Al}_2\text{O}_3}, \quad (9)$$

donde, N- Número de moles CaO, MgO, MnO, SiO₂ y otros.

Para el segundo grupo la más difundida es la expresión empleada por el Instituto Internacional de Soldadura, la cual es como sigue [13]:

$$B = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{BaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{Li}_2\text{O} + \text{CaF}_2 + 0,5(\text{MnO} + \text{FeO})}{\text{SiO}_2 + 0,5(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2)}, \quad (10)$$

donde, CaO, MgO, MnO, SiO₂- concentraciones de los componentes en %, el 0,5 ante los óxidos significa que estos tienen carácter anfótero.

La expresión que considera la conversión de la masa porcentual en molecular, que a nuestro criterio es más precisa, puesto que en ello se define en mayor grado la participación de cada uno de los óxidos se presenta de forma siguiente [76]:

$$B = \frac{0,018\text{CaO} + 0,025\text{MgO} + 0,006\text{CaF}_2 + 0,014(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) + 0,007(\text{MnO} + \text{FeO})}{0,017\text{SiO}_2 + 0,005(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2)}, \quad (11)$$

Donde las concentraciones de los componentes se expresa en %.

Esta última ecuación, aún cuando se sabe que está limitada al no considerar la existencia de los compuestos, permite caracterizar con bastante aproximación el comportamiento metalúrgico de los fundentes, en particular su participación en los procesos REDOX y afino. En la valoración de la posibilidad de obtención en la escoria

de uno u otro óxido libre es necesario considerar la posibilidad de formación de diferentes compuestos ($\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$; $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$; $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$; $2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$; $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), cuando una molécula de SiO_2 puede enlazar no una, sino dos moléculas de óxido básico bivalente (CaO , MgO , etc) [21].

En consecuencia un fundente compuesto de 50 % de SiO_2 y 50 % de MnO sería ácido y no neutro ($B=1$). Lo anterior es válido si se emplea en la determinación de la basicidad los valores porcentuales, sin embargo, si se emplean las relaciones molares el fundente tendrá un carácter básico ($B=1, 18$). Se hace necesario aclarar que la formación de los compuestos a partir de óxidos se verifica por sus relaciones estequiométricas y no por sus relaciones porcentuales.

Si la basicidad es menor que la unidad ($B < 1$) los fundentes se consideran ácidos, básicos si $B > 1$ y neutros si $B = 1$ [11,82]. Esta clasificación de los fundentes en determinada medida es formal, ya que el valor absoluto de la basicidad de cada compuesto es desconocido, no obstante permite emitir juicios del comportamiento metalúrgico de los fundentes [78], pues para valores más elevados de basicidad, los valores de actividad del ion de oxígeno O^{2-} son mayores, o sea, mayores serán en la escoria los iones libres de este.

La mayoría de los autores coinciden en dividir los métodos de valoración de la actividad química (oxidante) de los fundentes (matriz) formalmente en dos grupos [72]. El primer grupo comprende los métodos universales, válidos para evaluar las propiedades metalúrgicas del medio protector en todos los procesos de soldadura por fusión. Estos métodos son generales y no totalmente precisos, se basan en la consideración de la composición química del metal fundido bajo la acción del medio protector (fundente).

Otros autores [19], plantean valorar la actividad química de los fundentes (su acción oxidante) por el contenido relativo de los elementos de aleación en el metal de la costura en comparación con el contenido original en el electrodo. Este contenido relativo se conoce como, coeficiente de asimilación o coeficiente de transferencia del elemento aleante al metal de la costura (metal fundido). A nuestro criterio una deficiencia visible de este coeficiente es que considera las pérdidas totales del elemento de aleación en la oxidación y volatilización sin diferenciación de cómo y en cuál estadio estas ocurren.

La actividad química relativa de los óxidos [78,38], está relacionada con la basicidad del fundente y puede ser calculada con bastante aproximación por las expresiones $A_{FA}=(RO_2)/100B$ y $A_{FB}=(RO)B/100$ para los óxidos ácidos y básicos respectivamente. La actividad química relativa de un fundente es considerada la actividad total de sus óxidos y se determina por la ecuación:

$$A_f = \left(\sum_{i=1}^m (RO_2)_i + B^2 \sum_{k=1}^q (RO)_k \right) / 100B, \quad (12)$$

donde, m, q – Cantidad de óxidos ácidos y básicos.

(RO_2), (RO)- Concentración de los óxidos ácidos y básicos en la composición del fundente en %.

B – basicidad del fundente, determinada por la ecuación (1).

La ecuación (3), puede adoptar la forma:

$$A_f = \frac{(SiO_2) + 0,5(TiO_2) + 0,4(Al_2O_3 + ZrO_2) + 0,42B^2(MnO)}{100B}, \quad (13)$$

donde, (SiO_2), (TiO_2), etc. – Contenido de los componentes del fundente, %.

Esta metodología de valoración de la intensidad de interacción del medio protector con el metal por la cantidad de oxígeno que reacciona con éste, puede ser utilizada prácticamente para todos los tipos de soldadura por fusión. La ventaja que permite reflejar cuantitativamente, la actividad química oxidante del medio protector. Sobre esta base se puede correctamente hacer la elección de la variante metalúrgica de soldadura por fusión (alambre electrodo-medio protector). No obstante la valoración referida tiene una desventaja y es que el índice de la capacidad oxidante del medio protector constituye una magnitud abstracta no relacionada con su naturaleza, es decir, que no contempla las particularidades de las relaciones específicas de los componentes, de tal modo que fundentes con idéntico valor de actividad pueden no comportarse de igual modo ya que las actividades individuales de los óxidos son diferentes, incluso para un mismo sistema de óxidos a causa de diferentes relaciones específicas pueden ser diferentes los compuestos existentes en él. Es por ello que la valoración propuesta no da por adelantado la posibilidad de predecir como un medio protector u otro oxida el

Métodos de restauración de implementos de labranza..... 42
metal del cordón y permite solo constatar las consecuencias de los procesos de oxidación-reducción (variante del método de prueba y error).

Como las reacciones de interacción entre el metal y la escoria dependen no solo de las condiciones de concentración en la zona de fusión, sino también del régimen de soldadura [87,94], un mismo fundente, en dependencia de los parámetros de régimen, puede manifestar diferente actividad química. Hay resultados [15,16] donde se demuestra que la actividad química de un fundente puede variar para idénticas condiciones de régimen con la variación de la densidad aparente (características de los granos y dimensiones de estos). Por ello, sobre la base de la valoración propuesta es difícil elegir el fundente para cada caso concreto sin un análisis experimental (método de prueba y error o diseño estadístico de experimentos).

El coeficiente de actividad química relativa de los fundentes varía desde 0 hasta 1, y brinda la posibilidad de distribuir por un orden a los fundentes fundidos partiendo de su actividad química y orientarse con cierto grado de certeza en la selección de un fundente para la soldadura de un acero determinado.

Existen varias clasificaciones de fundentes sobre la base de su actividad química [62], que clasifica a los fundentes de alta sílice y alto manganeso de la siguiente forma:

Fuertemente activos ($A_f \geq 0,6$); activos ($A_f = 0,6 - 0,3$); poco activos ($A_f = 0,3 - 0,1$) y pasivos ($A_f \leq 0,1$).

Propiedades físicas de los fundentes

En la soldadura por arco sumergido los fundentes cumplen una serie de funciones: Aíslan el baño de la interacción con la atmósfera, estabilizan el arco, forman la superficie del metal, retardan la transferencia de calor al medio, intervienen en los procesos de afinado y de oxidación-reducción entre otros. La parte cualitativa de las funciones nombradas están relacionadas con las características físicas de los fundentes, sobre todo en estado fundido [82,44].

La viscosidad de los fundentes ha sido objeto de estudio por varios autores [1,21] debido a su influencia sobre el carácter de formación del cordón, la profundidad de fusión del metal base, la salida de gases de la zona de fusión y particularidades del proceso.

En el proceso de soldadura las escorias deben tener una temperatura de fusión no lejana a la temperatura de fusión del metal [62], prefiriéndose tal estado de temperatura de fusión del metal y la escoria en el cual la escoria pasa al estado líquido fluido para una temperatura algo inferior a la temperatura de fusión del metal (para soldadura de aceros debe ser 200-300 °C). Lo planteado, junto a la dependencia de la viscosidad de la temperatura (su carácter corto o largo) y las condiciones de síntesis del fundente, predeterminan las características de fusibilidad de éste.

La densidad de las escorias fundidas depende de la temperatura y la presión cuando el sistema no es abierto [47], así como de las concentraciones de los componentes y las relaciones particulares de estos. También se advierte como la aparición en el fundido de compuestos complejos estables en forma de aniones lleva a la desviación de la solución ideal y la curva de densidad se desvía de la recta, observándose un punto de flexión en la curva de densidad cuando en el diagrama de estado se tiene un máximo correspondiente a la formación en estado sólido de un compuesto químico.

Existe poca información sobre la densidad de los fundentes para altas temperaturas en la bibliografía, ya que pueden ocurrir variaciones de volumen, por altos valores de densidad se distinguen los fundentes que contienen grandes cantidades de óxidos de manganeso [101], por relativamente baja los del tipo de sales del sistema $\text{CaF}_2\text{-NaF}$, el alto contenido de SiO_2 generalmente lleva a la aparición en la escoria de aniones complejos del tipo $\text{Si}_x\text{O}_y^{z-}$, los cuales débilmente retienen a los cationes del metal y aumentan el volumen del fundente (escoria).

Cuando las escorias presentan menor densidad, estas se liberan más fácilmente del metal flotando sobre su superficie, lo que posibilita la obtención de cordones de soldadura libres de inclusiones exógenas [82].

Desde el punto de vista de la protección de la influencia de la atmósfera, la alta permeabilidad del fundente constituye un fenómeno negativo, pero permite una mejor liberación de los gases a través de la escoria del metal que cristaliza y esto es un fenómeno positivo.

La permeabilidad del fundente influye, no solo en el contenido de gas en el metal del cordón, sino también en su forma y en su formación, esta propiedad depende de sus densidades, características granulométricas y la constitución física del grano (poroso, vítreo o vítreo- poroso, para el caso de los fundentes fundidos) [95]. La mejor

capacidad aislante de la influencia de la atmósfera la poseen los fundentes que tienden a un empaquetamiento denso de las partículas acorde con su distribución granulométrica. La altura de la capa de fundente del sistema MnO-SiO₂ en función de la intensidad del arco, se muestra en la tabla 1 [82].

Tabla 1. Altura de capa de fundente en función de la corriente de soldadura

Corriente de soldadura. (A)	200-400	400-800	800-1200
Espesor de la capa (mm).	25-35	35-45	45-60

Propiedades tecnológicas de los fundentes

Por propiedades tecnológicas de los fundentes durante el proceso de soldadura se entiende la capacidad de estos de permitir el encendido, de mantener la estabilidad del arco, de garantizar una forma adecuada del cordón y de formar en la superficie del cordón una capa fácil de desprender [82].

De forma cuantitativa resulta difícil evaluar las propiedades tecnológicas, por ello estas son reflejadas mediante índices cualitativos basados en criterios de expertos [13,24], no obstante se plantean otros métodos de evaluación, en particular para la estabilidad del arco, uno de ellos es la determinación de la mayor longitud para la cual ocurre su interrupción [78].

Un encendido no estable del arco puede ser provocado por varias causas: debilitamiento periódico del arco en el cambio de metal o por la utilización de corriente alterna, características insuficientes de la fuente de corriente y composición de los consumibles. La mayor responsabilidad se le atribuye a la composición del fundente y en menor medida a la del alambre electrodo y del metal base [103].

Se puede influir sobre la estabilidad de encendido del arco mediante la introducción en el metal de elementos con bajo potencial de ionización, lo cual casi siempre se logra a través de la composición del fundente, los iones de los elementos referidos, en su movimiento hacia el cátodo bombardean la mancha catódica, formando segmentos, en los cuales decrece bruscamente el potencial de salida y ocurre la mayor emisión de electrones [19].

La presencia de fluoruros o haluros en el fundente desempeña un papel negativo, lo cual está condicionado por el arribo a la atmósfera del arco del anión F⁻ o X⁻, junto al

cación Ca^{2+} [38]. Por esto la concentración del fluoruro de calcio en valores excesivos en fundentes del sistema $\text{MnO}-\text{SiO}_2$ ($>10\% \text{CaF}_2$), hace decrecer significativamente la longitud del arco [61].

Sobre la forma de la sección transversal del cordón ejercen gran influencia las propiedades estabilizadoras del fundente, su densidad y su distribución granulométrica [17], variando la longitud del arco y la profundidad de su penetración en el metal base se puede variar el coeficiente de forma del cordón. Esto puede lograrse variando las propiedades estabilizadoras del fundente, de tal modo que un fundente con bajas propiedades estabilizadoras lleva a la disminución de la longitud del arco y la obtención de un cordón estrecho, con gran profundidad de penetración. Para altas propiedades estabilizadoras del fundente hay un alargamiento del arco y en consecuencia la obtención de un alto coeficiente de forma del cordón.

Según resultados de varios autores [80,16] cuando se emplea un fundente de granos pequeños, como para fundentes de pocas propiedades estabilizadoras, se obtienen cordones más estrechos con gran profundidad de penetración y con un coeficiente de forma elevado, lo contrario ocurre para fundentes de granulometría gruesa. Se hace casi evidente que lo anterior se relaciona con la variación de la densidad aparente de la capa fundente en función del tamaño de los granos; la apariencia externa del cordón en gran medida depende de la uniformidad de deposición del metal, relacionado con las condiciones de cristalización del baño. Para una gran movilidad del baño, por ejemplo, como resultado de la combustión del carbono o el desprendimiento de los gases disueltos, el aspecto externo del cordón empeora significativamente [13].

Para la soldadura de cordones circulares de poco diámetro conviene utilizar fundentes que forman escorias “cortas”, ya que la escoria solidifica rápido y sostiene al baño para que no gotee [27].

Desde el punto de vista de la adherencia mecánica de la escoria, se separan más fácil aquellas escorias con poca resistencia, con mayor coeficiente de dilatación lineal y de alta temperatura de reblandecimiento [58], siendo determinado fundamentalmente por su resistencia mecánica y no por la fuerza de adherencia de ésta con el metal. De igual modo para menores ángulos de bisel la capa de escoria se desprende con mayor dificultad para iguales condiciones [105].

Cuando el cordón está sobre una superficie plana (180° de ángulo) la costra de escoria se sostiene por dos fuerzas dirigidas hacia abajo, una que la sostiene al cordón y otra al metal base. Si el ángulo entre los bordes es menor de 180° surge una componente en dirección horizontal en el contacto de la escoria con el metal base, además de las dos fuerzas verticales. Este último componente esta relacionado con la diferencia de los coeficientes de dilatación lineal $|\alpha_{esc} - \alpha_{metal}|$.

La variación de α_{esc} cuando los componentes del fundente varían en 1 %, es como muestra la tabla 2 [1,81].

Tabla 3. Variación del coeficiente de dilatación de la escoria en % de masa

CaO	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	CaF ₂
1,14	1,033	0,997	0,995	0,992	0,934	0,912

A mayor basicidad la resistencia mecánica de la escoria es menor y en consecuencia su adherencia es menor también [74]. Esto a nuestro criterio debe estar vinculado con la influencia de los elementos básicos sobre los enlaces del silicato.

Sobre la adherencia química de la escoria y el metal se plantea que la escoria solidifica último (200- 500 °C, 5-40 S), lo cual trae consigo la oxidación del metal solidificado, haciendo que los óxidos que se forman sobre el cordón, en la interfase, sostengan con mayor fuerza la escoria [19], la mayor adherencia tiene lugar cuando se forma una capa de óxidos mixtos, de 1,5 µm aproximadamente, entre el metal y la escoria [62].

Los óxidos divalentes de varios metales de transición (fundamentalmente de la primera serie) que se forman por la oxidación en la interfase (metal- escoria) se diluyen en la superficie de la escoria y según su viscosidad se transportan lentamente hacia el interior de ésta [95], por lo que no da tiempo a que su concentración en la superficie sea alta; mientras que el FeO que se forma en la superficie del metal se mantiene con cierta adherencia debido a la formación de (FeO_{1-x}) insaturado, por lo que otros óxidos de grado superior (Fe³⁺, Cr⁶⁺, etc.) interactúan con el FeO_{1-x} dando compuestos de tipo espinelas. Lo anterior depende de la viscosidad, la basicidad, la actividad química de la escoria, así como de la composición del depósito. A medida que aumentan los

compuestos (óxidos, espinelas) con parámetros de red próximos a los del $Fe\alpha$ y de la wustita (FeO) la adherencia aumenta [92]. Para contrastar este efecto se sugieren introducir en el fundente elementos más afines por el oxígeno (C, Si) [59].

La adherencia depende, también, de la tensión superficial entre el metal sólido y la escoria, entre el metal líquido y la escoria líquida y entre el metal sólido y el metal líquido. El mejoramiento del desprendimiento se obtiene al aumentar la tensión superficial y la tensión en la interfase.

8. Técnicas para la medición del desgaste de materiales

Es de gran importancia considerar las grandes pérdidas económicas que anualmente se presenta en todo el mundo debido al desgaste de materiales. Para reducir los altos costos de desgaste es necesario la aplicación de un muy metódico conocimiento, frecuentemente empírico, para la búsqueda sistemática de mecanismos contra el desgaste.

El desgaste abrasivo es el tipo de desgaste más destructivo. Esto provoca altas pérdidas en corto tiempo. Se ha estudiado el desgaste abrasivo en los principales aceros dúctiles y frágiles sin lubricación en ambientes de laboratorio. La velocidad de desgaste comercialmente es medida mediante el método PIN-ON-DISK. Las investigaciones muestran cómo la microestructura y las propiedades mecánicas influyen en el ritmo de desgaste.

Determinación del desgaste abrasivo:

En el desgaste abrasivo, las partículas duras remueven el material rayándolo o barriéndolo, dejando una suave superficie desgastada.

La dureza no proveerá un valor aproximado de la rata de desgaste.

La resistencia al desgaste no es una propiedad intrínseca de los materiales, todos los eventos de desgaste se consideran que forman parte de un sistema tribológico. Así, es necesario analizar dicho sistema de desgaste abrasivo.

Los variados parámetros que influyen en la rata de desgaste son:

Propiedades de diseño: Transmisión de carga, tipo de movimiento de las partes estructurales, grado de lubricación, temperatura y medioambiente.

Condiciones de operación: Área de contacto, presión de contacto, condiciones superficiales de las partes estructurales.

Tipo de abrasivo: Dureza, forma, tamaño, ductilidad, resistencia al desgaste.

MetodoS pin on disk:

Un método muy adecuado para determinar la resistencia al desgaste entre metales es el denominado Pins On Disk (Pin sobre disco).

Para la prueba de desgaste con el método Pin On Disk se necesitan dos probetas fabricadas con los materiales a ser estudiados. El primero es un pin cuyo tamaño es muy reducido, el cual es posicionado perpendicularmente a la otra pieza, la cual usualmente es un disco circular. La máquina de pruebas causa que el pin o el disco giren entre sí, como consecuencia de ello, se forma un camino de desgaste en el disco. El plano del disco puede ser orientado vertical u horizontalmente y los resultados de desgaste pueden diferir según la orientación del disco.

La probeta en forma de pin se presiona sobre el disco con una carga específica, la cual se encuentra usualmente sujeta a un brazo posicionador con contrapesos. Otros métodos de carga que se han utilizado son hidráulicos o neumáticos. Los resultados de desgaste pueden diferir según el tipo de carga. Los reportes de desgaste se realizan en términos de pérdida de volumen en milímetros cúbicos por el pin y el disco separadamente. Cuando dos materiales son probados, se recomienda que el ensayo sea realizado en ambas posiciones para ambos materiales (pin y disco).

La cantidad de desgaste mediante la medición apropiada del peso de las probetas antes y después del ensayo. La pérdida de masa por desgaste se puede convertir en pérdida de volumen mediante la utilización de adecuados valores de densidad.

En términos generales el equipo consiste en un posicionador de un pin esférico sobre un disco, el cual gira por la acción de un motor a unas determinadas revoluciones por minuto (RPM). El pin se encuentra localizado a un radio R del centro del disco. El disco

puede estar dotado con celdas de carga, las cuales pueden servir para determinar el coeficiente de rozamiento.

Un motor con velocidad variable, capaz de mantener la velocidad seleccionada constante (con una variación de $\pm 1\%$ de la máxima velocidad del motor) es requerido para la máquina. El motor debe estar montado de tal manera que las vibraciones no afecten las pruebas. Las velocidades de rotación más usadas se encuentran en el rango de 0,3 a 3 rad/s (60 a 600 rpm).

La máquina debe estar equipada con un contador de revoluciones y preferiblemente, debe tener la capacidad de apagar el equipo después de sobrepasar un determinado número de revoluciones.

Instrumentos para obtener mediciones lineales de desgaste deben ser utilizados junto con el equipo; estos instrumentos deben tener una sensibilidad de 2,5 mm por lo menos. Cualquier balanza utilizada para medir la pérdida de masa en las probetas deberá tener una sensibilidad de 0,1 mg por lo menos. En casos de poco desgaste se necesitan mayores sensibilidades.

Este método puede aplicarse a una gran variedad de materiales. El único requisito es que las probetas tengan dimensiones específicas para que puedan resistir las cargas aplicadas durante el ensayo. Los materiales a ser probados deberán tener una detallada descripción en cuanto a dimensiones, acabado superficial, tipo de material, forma, composición, microestructura, tratamientos térmicos y dureza.

La probeta pin típicamente es un cilindro o una pequeña esfera, los cuales deben tener un diámetro de 2 a 10 mm. Los discos deberán tener un diámetro entre 30 y 100 mm, con un espesor que varía entre 2 y 10 mm.

El acabado superficial deberá presentar una rugosidad máxima de 0,8 mm.

Parámetros del ensayo:

Carga: Valores de la fuerza de contacto en Newtons.

Velocidad: La velocidad relativa entre las superficies de deslizamiento en m/s.

Distancia: La distancia acumulada de deslizamiento en m.

Temperatura: La temperatura en las dos probetas en cercanía a la superficie de contacto.

Atmósfera: La atmósfera (aire del laboratorio, humedad relativa, argón, lubricante, etcétera) alrededor de la superficie de contacto.

Procedimiento:

Antes de medir la pérdida de peso en una probeta, lo primero que se tiene que realizar es el lavado y la limpieza de los especímenes. Hay que tener cuidado de limpiar todo tipo de mugre sobre la superficie; para ello, se debe utilizar solventes que no formen películas y que no sean a base de cloro. Se deberá reportar el método de limpieza.

Se deberá medir dimensiones de hasta una precisión de 2,5 mm y peso de hasta 0,0001 g. Se deberá insertar el disco en el dispositivo de sujeción, de tal manera que el disco se encuentre perpendicular al eje de rotación (+1 grado de desviación).

Insertar la probeta de pin en su dispositivo de sujeción, de tal manera que quede perpendicular al disco (+1 grado de desviación), con el propósito de mantener las condiciones de contacto necesarias.

Aplique la carga apropiada al pin, de acuerdo con las condiciones de desgaste que se quieren medir.

Prenda el motor y ajuste la velocidad hasta el valor deseado. Pare el motor en el momento en el que el pin deja de estar en contacto con el disco.

Ajuste el contador de revoluciones con el valor deseado. Inicie el ensayo con las probetas en contacto sometidas a carga. La prueba se detendrá cuando se hayan completado el número de revoluciones programadas. La prueba no deberá ser reiniciada o interrumpida.

Extraiga las probetas y límpielas de cualquier partícula y esquirlas presentes. Observar la presencia de protuberancias, desplazamientos de metal, decoloración, microfracturas o anomalías superficiales.

Se deberá medir nuevamente las probetas en cuanto a dimensiones y peso. Esta prueba se debe repetir varias veces con el propósito de tener suficientes datos que estadísticamente produzcan resultados significativos.

Las mediciones de desgaste deberán ser reportadas como pérdida de volumen en milímetros cúbicos para el pin y el disco separadamente.

Se debe utilizar la siguiente ecuación para calcular la pérdida de volumen cuando el pin es inicialmente esférico con un radio R en condiciones en las cuales uno de los dos miembros se desgasta significativamente:

En donde P_{pin} es la pérdida de volumen del PIN en milímetros cúbicos, d es el diámetro del camino de desgaste y R el radio del PIN. Se asume que el DISCO no tiene desgaste significativo.

9. Aplicaciones de los plásticos en agricultura

Los plásticos han permitido convertir tierras aparentemente improductivas en modernísimas explotaciones agrícolas. Ejemplo de ello es la provincia de Almería, que de una agricultura de subsistencia ha pasado a contar con una gran concentración de invernaderos que la hacen modelo del desarrollo agrícola en muchas partes del mundo.

En Almería se encuentra la mayor concentración de invernaderos del mundo, unas 30,000 ha cubiertas por plástico y que han permitido la producción de hortalizas en territorios prácticamente desérticos; así el valor de la producción hortofrutícola en Almería ha pasado de 9,500 millones de pesetas en 1975 a los casi 189,000 millones de pesetas en 1997 (más de 1,2 billones americanos de dólares) (Fuente: CEPLA, 2000).

El plástico en agricultura se utiliza en invernaderos, macrotúneles, microtúneles, acolchados, mallas, en el control de plagas (plásticos fotoselectivos), en el control de enfermedades (solarización), en el riego, etcétera.

Propiedades físicas

La elección de un determinado material de cubierta influirá en el tipo de estructura del invernadero, es decir, determinará el peso que debe soportar la estructura por tanto el espacio que debe haber entre pilares, barras de soporte, correas, distancia entre canal y cumbrera y forma del techo.

- **Peso.** Los filmes de plástico tienen poco peso lo que reduce su exigencia en estructuras y por tanto aumenta la uniformidad de la luz en el interior al reducir el sombreo. Los materiales rígidos además de un peso mayor acostumbran a tener un tamaño más reducido con lo cual requieren un mayor número de soportes por lo que influirá también en una menor estanqueidad.
- **Densidad.** Informa sobre la cristalinidad de los polímeros. Ésta modifica la flexibilidad, permeabilidad y propiedades térmicas del polímero. Una densidad baja facilita la manipulación y el transporte unido o un menor precio.
- **Espesor.** Las unidades de medida serán milímetros generalmente utilizados para vidrio y plásticos rígidos y micras o galgas para los filmes, 100 equivalen a 400 galgas. (1 mm = 1000). En filmes el espesor recomendado para proteger el cultivo en las bajas temperaturas es de 200-800 galgas.
- **Resistencia** a la rotura (especialmente en zonas de granizo, nieve o viento), resistencia a la deformación por altas temperaturas, resistencia a la rotura por bajas temperaturas.
- **Envejecimiento.** El envejecimiento de los materiales utilizados como cubierta en invernadero viene determinado por la degradación de sus propiedades físicas, radiométricas y mecánicas.

a) Envejecimiento Físico. El seguimiento de la degradación física de los materiales se puede realizar regularmente por una simple observación que revele la aparición de desgarraduras en láminas plásticas y mallas de sombreo, desprendimiento de la capa

de aluminio en pantallas térmicas, fractura de la muestra en materiales rígidos, etcétera.

b) El Envejecimiento Radiométricos un procedimiento sencillo para determinar los cambios en la transmisión de luz de un material. Esto se debe a la acción de los rayos solares, que miden periódicamente, la radiación fotosintética activa (PAR) comprendida entre 400 y 700 nm, primordial para las plantas, y que condiciona su rendimiento. Esta medida hecha tanto al aire libre como bajo el material de cubierta, nos informa de las variaciones en la capacidad de éste para transmitir el máximo de luz.

Tabla 4

Duración de plásticos normalizados para invernaderos (Fuente: SERRANO, 1994)				
Tipo de plástico		Espesor	Duración (en Almería)	Radiación solar recibida
Polietileno “normal” (sin aditivos)	(sin)	150 micras (600 galgas)	6-8 meses	< 148 kcal/cm ²
Polietileno “larga duración”		180 micras (720 galgas)	2 años	296 kcal/cm ²
Polietileno “Térmico larga duración”	larga	200 micras (800 galgas)	2 años	296 kcal/cm ²
Copolímero EVA (12 % AV)		200 micras (800 galgas)	2 años	296 kcal/cm ²
Copolímero EVA (6 % AV)		100 micras (400 galgas)	1 año	148 kcal/cm

10. La labranza conservacionista como alternativa

Los sistemas de labranza conservacionista del suelo y la siembra directa ofrecen numerosas ventajas que no pueden ser obtenidas con la labranza intensiva. Estas ventajas han sido resumidas de la siguiente forma:

1. necesidades menores de mano de obra,
2. economía de tiempo,
3. menor desgaste de la maquinaria,
4. economía de combustible,
5. aumento de la productividad a largo plazo,
6. mejoramiento de la calidad del agua superficial,
7. disminución de la erosión,
8. mayor retención de humedad,
9. aumento de la infiltración de agua en el suelo,
10. disminución de la compactación del suelo,
11. mejoramiento de la estructura del suelo,
12. aumento de la vida silvestre,
13. menor emisión de gas carbónico a la atmósfera,
14. reducción de la contaminación del aire.

Leyes de la disminución de la productividad de los suelos

En la naturaleza existen leyes que rigen la disminución de la productividad de los suelos y deben ser tomadas en cuenta en la producción agropecuaria. Quién no respeta esas leyes estará promoviendo la degradación del suelo y la pérdida de su productividad. Considerar estas leyes es indispensable si se desea obtener una producción agrícola sustentable.

1. Todo sistema de producción agrícola/ganadero que contribuya a disminuir constantemente los tenores de materia orgánica del suelo, no es sustentable y tiene como consecuencia el empobrecimiento del suelo y del hombre.
2. Debido a la preparación repetida e intensiva del suelo y bajo condiciones tropicales y subtropicales, la materia orgánica generalmente se mineraliza (disminuye) a tasas mayores que las posibilidades de reposición. Esto ocasiona

la reducción de la materia orgánica en el suelo y la disminución gradual del rendimiento de los cultivos a través del tiempo.

3. La preparación repetida e intensiva del suelo, que lo dejan descubierto, así como las fuertes lluvias y vientos que prevalecen en los trópicos y subtrópicos, resultan en erosión hídrica o eólica y en pérdidas de suelo mayores que su regeneración natural. Esto ocasiona la pérdida de nutrientes y materia orgánica y la disminución del rendimiento de los cultivos a través del tiempo.
4. La preparación repetida e intensiva del suelo en los trópicos y subtrópicos produce en general daños a la estructura del suelo y favorece el aumento excesivo de su temperatura, provocando efectos negativos sobre el crecimiento de las raíces, la flora, la fauna (vida del suelo) y humedad del suelo. Esto resulta en la disminución del rendimiento de los cultivos, a través de los años.
5. Todo sistema de producción agrícola / ganadero en el que ocurren importantes pérdidas de nutrientes del sistema ya sea por extracción sin reposición (ej.: explotación agrícola), volatilización (ej.: reiteradas quemas) y / o por lixiviación o lavado (ej.: barbecho sin cultivo), no es sustentable y tiene como consecuencia el empobrecimiento del suelo y del hombre.

Además, la preparación intensiva del suelo provoca el escape rápido del carbono del suelo en forma de gas (dióxido de carbono) a la atmósfera. Esto resulta en emisiones inaceptables de CO₂ a la atmósfera y en vez de que el carbono sea depositado en el suelo mejorando su productividad, la labranza contribuye al efecto invernadero y al calentamiento global del planeta.

Los inevitables efectos negativos de la preparación del suelo, en regiones tropicales y subtropicales sobre la materia orgánica, erosión, estructura, temperatura, humedad, infiltración de agua, flora y fauna (biología del suelo), y pérdida de nutrientes, resultan en la degradación química, física y biológica del suelo. Esto lleva a través de los años a rendimientos decrecientes de los cultivos, a una disminución de la productividad del suelo y al empobrecimiento del suelo y del hombre.

Las leyes de la productividad decreciente de los suelos implican que la sustentabilidad de la producción agrícola/ganadera no puede ser alcanzada mientras se realice la preparación repetida e intensiva del suelo en los trópicos y subtrópicos, se explote el suelo sin reponer las pérdidas o extracciones que producen las cosechas, y/o se realicen quemadas frecuentes de los campos.

Para mantener y mejorar la fertilidad del suelo, y conseguir que la agricultura sea sustentable en los trópicos y subtrópicos, es necesario dejar de prepararlo y mantenerlo bajo cobertura permanente, agregando cantidades adecuadas de residuos vegetales al sistema.

Es imposible alcanzar una agricultura sostenible y al mismo tiempo realizar la preparación intensiva del suelo.

La siembra directa con abonos verdes y rotación de cultivos es el único sistema de producción en la agricultura extensiva que posibilita obtener una agricultura sostenible en los trópicos y subtrópicos.

Los sistemas tradicionales de uso agrícola con laboreo intensivo tienen como resultado (en los trópicos y subtrópicos), la degradación y la pérdida de productividad de los suelos. Esto tiene como consecuencia la pobreza, el éxodo rural, el aumento de poblaciones marginales y los conflictos sociales. Si se pretende ofrecer a los agricultores y campesinos y sus familias una posibilidad de sobrevivencia digna en el campo y si se procura practicar una agricultura sostenible, deberá cambiarse el enfoque de uso y manejo del suelo. A continuación se presentan los enfoques antiguos y actuales (paradigmas) y se analizan las consecuencias de estas dos formas de manejo del suelo.

Transferencia de tecnología

En los países industrializados, se están introduciendo, en todas las áreas relativas al diseño de maquinaria y equipo, nuevas tecnologías de microprocesadores y electrónicas destinadas a vigilar electrónicamente el funcionamiento de máquinas y motores. La introducción de controles múltiples y complejos en los tractores y

cosecadoras modernos suele sobrepasar las aptitudes de los operadores y, por consiguiente, acrecentar los riesgos de accidentes. Cuando no se adoptan medidas de protección adecuadas, los sistemas electrónicos de control a bordo quedan expuestos al campo electromagnético próximo a líneas de transmisión eléctrica de alto voltaje, equipo de comunicación y fenómenos naturales.

Las investigaciones actuales sobre la ergonomía, así como su aplicación práctica en los países en desarrollo, se centran principalmente en el sector industrial. Poco se ha hecho en relación con el sector agrícola y menos aún en lo concerniente a los pequeños agricultores. Se dispone de información escasa acerca del grado de eficacia de la ergonomía para aliviar las dificultades que suponen los trabajos manuales relacionados con los cultivos.

En la mayoría de los países en desarrollo, los problemas relativos a la transferencia de tecnología tienen repercusiones sobre la ergonomía. La mayor parte de las nuevas tecnologías provienen de países industrializados, y muy rara vez son apropiadas para el clima y los hábitos laborales y culturales de los países en desarrollo, o para la contextura y fuerza física de los trabajadores de esos países. En muchos casos, el equipo y las herramientas, así como los factores ambientales y organizativos, no están debidamente adaptados a los usos de esos trabajadores. Obviamente, esto genera situaciones de inseguridad, insalubridad e incomodidad. Además, en los países en desarrollo en los que coexisten diversos grupos étnicos suele haber considerables diferencias de contextura física entre las personas pertenecientes a grupos diferentes. Por ejemplo, los chinos tienen manos más cortas y estrechas y dedos más largos que los europeos y los indios. Estas diferencias pueden tener consecuencias ergonómicas limitadas o provocar serios problemas ergonómicos, perjudiciales tanto para el equipo como para los usuarios, que ocasionen accidentes y lesiones. Abundan los ejemplos de casos de posturas de trabajo estáticas, posturas corporales anómalas y trastornos musculares y óseos atribuibles a estos factores.

Los parámetros antropométricos para el diseño de herramientas y equipo responden a los modelos que proporcionan las poblaciones de los países que los producen. Algunas herramientas, aunque estén convenientemente adaptadas a las necesidades de los

trabajadores, se utilizan frecuentemente para trabajos muy diferentes de aquellos para los que fueron concebidas originalmente. Por ejemplo, un trabajador puede verse obligado a adoptar una postura inadecuada si debe realizar una excavación con una azada diseñada para escardar, o recoger patatas con una pala de mango corto concebida para excavar canales de riego. Además, la incorrecta adaptación del equipo y la maquinaria supone un mayor desgaste energético al efectuar trabajos pesados, circunstancia que puede acrecentar las exigencias del trabajo físico y mental y provocar fatiga innecesaria.

El aumento de la transferencia de tecnología a los países en desarrollo también conlleva repercusiones. La maquinaria, generalmente importada de países industrializados o traspasada por las grandes empresas a las pequeñas como maquinaria de segunda mano, se recibe frecuentemente con los mecanismos de seguridad estropeados o sin ellos y en un estado de mantenimiento que suele ser deficiente. Algunos implementos agrícolas adecuados para determinadas labores suelen emplearse en otras para las que son inapropiados. En algunas ocasiones, se utilizan implementos agrícolas seriamente dañados.

El importador asegura la adaptación de la maquinaria y el equipo a las condiciones locales de los países en desarrollo en la medida que lo permiten limitaciones tales como la disponibilidad de fondos, los conocimientos técnicos, las políticas de mercado, etcétera. Al seleccionar la tecnología que se ha de importar deberían tenerse en cuenta las cuestiones de diseño, con miras a introducir modificaciones y adaptaciones apropiadas para la mano de obra y los procesos locales. En cuanto a los cultivos que requieren mucha mano de obra, que son comunes sobre todo en los países en desarrollo, es necesario realizar una investigación ergonómica aplicada al trabajo y a las herramientas manuales.

Sin embargo, en algunos casos, se ha logrado adaptar la tecnología local disponible aplicando principios de ergonomía. En el período 1990-1992, el Instituto de Investigación Agrícola Samara, dependiente del Ministerio Federal de Ciencia y Tecnología de Nigeria, se ejecutó, en colaboración con el programa de investigación en materia de mecanización agrícola de la Universidad de Ahmadu Bello, en Zaria

(Nigeria), un proyecto orientado a desarrollar tecnologías agrícolas adaptadas para las mujeres que trabajan en la agricultura de subsistencia. El proyecto se llevó a cabo en los estados federados de Kano y Kaduna (región nigeriana de Savannah). El proyecto abarcó aspectos tales como la introducción de tecnologías específicas en las operaciones de preparación, aporcadura y escarda de la tierra, trilla de cultivos, elaboración de leche, extracción de aceite, trabajos de cocina y transporte de agua. Se desarrolló un prototipo de equipo en relación con el cual tuvo lugar un intercambio de opiniones con grupos de mujeres agricultoras que fue muy útil para mejorar el diseño del prototipo. El proyecto logró generar cierta sensibilización acerca de la necesidad de ayudar a las mujeres en sus actividades agrícolas y familiares introduciendo mejoras tecnológicas de bajo costo y utilización sencilla. También contribuyó a generar ingresos adicionales para los participantes y para los grupos comunitarios en su conjunto.

11. Accidentes de trabajo relacionado al deterioro de la maquinaria

Como se mencionó en el capítulo I, la agricultura es uno de los sectores de más alto riesgo en muchos países. Además de los 170,000 accidentes mortales que según estimaciones de la OIT se producen cada año⁽⁴⁾, muchos de los 1,300 millones de trabajadores agrícolas de todo el mundo sufren accidentes de trabajo o enfermedades profesionales graves. Mientras que en la década de 1990 las tasas de mortalidad relacionadas con el trabajo han disminuido en otras actividades peligrosas, por ejemplo, la minería y la construcción, en la agricultura continúan aumentando, tanto en los países industrializados como en los países en desarrollo. En los últimos años, el uso cada vez mayor de plaguicidas y maquinaria ha incrementado el riesgo de enfermedades profesionales y accidentes de trabajo. Como consecuencia de sistemas de educación, capacitación y seguridad inadecuados, los trabajadores de los países en desarrollo están particularmente expuestos a riesgos. Las principales causas de accidentes se relacionan con riesgos de origen físico, mecánico, ergonómico, químico y biológico.

Según la Oficina de Estadística de las Comunidades Europeas (EUROSTAT), en 1994 se registraron 348,300 accidentes agrícolas que motivaron más de tres días de

ausencia al trabajo, y 900 casos mortales, colocando a la agricultura en el segundo lugar entre los sectores de mayor riesgo en la región.

En 1996 se registraron en los Estados Unidos 710 muertes y 150.000 casos de discapacidad permanente como consecuencia de accidentes de trabajo en el sector agrícola. La tasa de mortalidad por cada 100.000 trabajadores disminuyó de 24 en 1992 a 21 en 1996, con un nivel máximo de 27 en 1993. Estos datos excluyen a las explotaciones con menos de 11 empleados y a los trabajadores menores de 16 años de edad. En este país, un estudio sobre accidentes agrícolas sufridos por niños y adolescentes reveló que entre los niños que trabajaban en la agricultura se producían más de 23,000 accidentes y 300 accidentes mortales cada año. Un estudio similar realizado en 1997 en Carolina del Norte indicaba que más de un tercio de los adolescentes que trabajaban en las granjas habían notificado exposición a plaguicidas y accidentes con cosechadoras de tabaco. Entre otros accidentes notificados ordinariamente figuraban accidentes con animales grandes, picaduras de insectos, cortes, quemaduras y caídas.

En Francia, el número de trabajadores temporeros y sustitutos en la agricultura y la ganadería aumentó un 0,3 por ciento entre 1995 y 1996. La tasa de frecuencia de accidentes entre ellos fue de 81,4 en 1996. Sin embargo, esto representó una mejora del 6,2 por ciento con respecto a las cifras de 1995. En 1996 las mujeres representaron el 14 por ciento de las víctimas de accidentes que motivaron días de ausencia al trabajo, y en el período 1994-1996 representaron el cinco por ciento de los accidentes mortales. Los menores de 20 años de edad representaron el cinco por ciento de los accidentes que motivaron días de ausencia al trabajo en 1996, y el cuatro por ciento de los accidentes mortales entre 1994 y 1996. Los trabajadores que habían sido incorporados recientemente, declarados como empleados por menos de un año, fueron los más afectados por accidentes de trabajo, representando el 37,3 por ciento de los accidentes que motivaron días de ausencia al trabajo en 1996, y el 34,7 por ciento de los accidentes mortales entre 1994 y 1996.

En los países en desarrollo la situación es más grave aún. Según datos estimativos suministrados por la Caja Nacional de Pensiones de Mauricio, en el período 1986-1988

más de dos de cada diez trabajadores de plantaciones de caña de azúcar habían sufrido un accidente de trabajo (10,000 accidentes por cada 44,000 trabajadores); en Puerto Rico, un tercio de todos los accidentes estaban relacionados con la agricultura. Además, el estudio sobre Puerto Rico revelaba que una elevada proporción de accidentes se debía a cortes con instrumentos manuales tales como cuchillos, machetes, hoces y otros.

En 1983, el Fondo de Seguridad Social de Côte d'Ivoire recibió alrededor de 1,950 notificaciones de accidentes de trabajo en el sector agrícola. Las causas mencionadas con mayor frecuencia se relacionaban con partes móviles de maquinaria (13 casos), falta de equipo protector personal (21 casos), información inadecuada sobre riesgos profesionales (14 casos) y falta de capacitación o capacitación inadecuada (12 casos). El Servicio de Inspección del Trabajo notificó un promedio de 175 accidentes anuales ocurridos entre 1989 y 1994 en sólo una empresa dedicada a la producción de caña de azúcar, que empleaba a 2,000 trabajadores. Esto representaba poco menos de un accidente por cada 10 trabajadores, de los cuales casi dos tercios eran trabajadores temporeros. Los accidentes estaban relacionados particularmente con machetes, máquinas, picaduras de serpientes, lesiones provocadas por las cañas y lesiones sufridas en accidentes de transporte.

En Brasil, Côte d'Ivoire y Camerún, entre otros países de clima húmedo y vegetación abundante, las picaduras de serpientes se mencionan frecuentemente como accidente agrícola, si bien hay pocas estadísticas que incluyan esos accidentes entre otros de origen profesional.

Ocasionalmente, también los animales suelen provocar lesiones graves. Los camellos tienen poderosas mandíbulas, y sus mordeduras y coces pueden causar serias lesiones. Los asnos también dan coces, que frecuentemente ocasionan un gran hematoma periorbital, y también suelen morder, aunque esto es menos frecuente. Los caballos, vacas y cabras también suelen derribar a las personas y producirles heridas y fracturas.

Accidentes con tractores y maquinaria agrícola

En Francia, donde existe un excelente sistema de cobertura de seguridad social para el sector agrícola, los accidentes en general están disminuyendo. De todos modos, la mecanización continúa siendo la causa principal de lesiones en tanto que representa el 25 por ciento de los casos, de los cuales el 30 por ciento está asociado con tractores y maquinaria agrícola móvil, y casi el 13 por ciento está relacionado con herramientas manuales, mientras que el 10 por ciento concierne al trabajo con animales y el 8 por ciento es imputable a las condiciones del suelo. Uno de cada tres accidentes provoca discapacidad permanente y representa el 30 por ciento de los costos en concepto de indemnización.

En España y en otros países europeos con un grado similar de desarrollo, alrededor del 40 por ciento de los accidentes están relacionados con la maquinaria, y la mitad con tractores solamente. Australia notificó que los agricultores y los trabajadores agrícolas constituían el grupo más numeroso afectado por accidentes mortales con tractores: entre 1989 y 1992 la mayoría de las lesiones fueron causadas por vuelcos, o por accidentes ocurridos cuando el trabajador se caía o descendía del tractor o de la maquinaria de que se tratara y era arrollado por ella.

Algunos países africanos han registrado un importante aumento de accidentes de trabajo desde que se introdujeron tractores y camiones en las actividades de producción de caña de azúcar. En la Argentina, entre abril y junio de 1997, la maquinaria agrícola causó el 29,9 por ciento de los accidentes no mortales y el 4,2 por ciento de los accidentes mortales. Colombia notificó que el 50 por ciento de los accidentes ocurridos en el sector agrícola en 1996 tenían que ver con el uso de tractores. La mayoría de esos accidentes fueron protagonizados por tractores que volcaban luego de que una de sus ruedas se metiera en un surco, o por vehículos que trabajaban en terrenos excesivamente escarpados o cuya carga estaba distribuida irregularmente. En 1993, casi 300 muertes en accidentes de trabajo se atribuyeron al hecho de que los tractores carecían de estructuras de protección en caso de vuelco o de cinturones de seguridad. Se suele considerar que tales cambios son demasiado costosos o que menoscaban la eficacia del vehículo; en ciertos casos es prácticamente

imposible desde el punto de vista técnico introducir esos mecanismos en vehículos obsoletos.

Los datos disponibles correspondientes a los países en desarrollo revelan que ha habido un incremento en la tasa de accidentes, y que tales accidentes ocurren principalmente entre los trabajadores migrantes y jornaleros así como entre las mujeres y los niños, cuya proporción en el conjunto de los trabajadores aumenta constantemente. En la mayoría de los países la maquinaria agrícola suele ser utilizada no sólo por operadores especialmente capacitados para esos fines sino también por mujeres, niños de cierta edad y adolescentes. Por ejemplo, en 1989, en los Estados Unidos el 62 por ciento de los accidentes agrícolas mortales cuyas víctimas fueron niños y adolescentes estaban relacionados con tractores. Un estudio realizado en 1997 en Carolina del Norte entre adolescentes que trabajaban en granjas reveló que éstos estaban expuestos a riesgos para la seguridad, tales como accidentes con tractores, vehículos todos terrenos, camiones agrícolas y segadoras rotatorias. Las tasas de accidentes mortales aumentan con la edad de los niños. La tasa correspondiente a los niños de 15 a 19 años es el doble que la de los niños pequeños y 26 veces más alta que la de las niñas.

En Suecia, desde 1983, todos los tractores, viejos y nuevos, deben estar equipados con estructuras de protección en caso de vuelco, y la ley pertinente de 1959 es también aplicable plenamente a las granjas familiares. La ley ha dado lugar a una importante reducción del número de accidentes mortales causados por vuelcos, que disminuyeron de 40 casos por año a casi ninguno.

Accidentes en silos y otros depósitos

Los silos que se utilizan en las granjas para almacenar cereales entrañan un considerable riesgo de muerte por asfixia. Una vez que se ha introducido el cereal en el silo, y en el plazo de algunas horas, comienzan a acumularse en la parte superior del silo óxidos de nitrógeno extremadamente tóxicos que pueden permanecer allí durante una semana o más. Se han registrado niveles de dióxido de nitrógeno cientos de veces más elevados que lo que prescriben las normas industriales. El tratamiento debe ser

adecuado y rápido para evitar consecuencias irreparables. Cuando se procede a la apertura de un silo sellado herméticamente existe el peligro de asfixia, ya que las semillas y los forrajes desprenden dióxido de carbono que reduce el contenido de oxígeno del aire hasta niveles inferiores al mínimo vital. También se han notificado caídas seguidas por asfixia, como consecuencia de la inhalación de los gases que desprenden los granos. Muchos países disponen de extensas listas de recomendaciones concernientes a los riesgos del trabajo en silos, pero por lo general esas recomendaciones no se siguen adecuadamente.

Enfermedades profesionales y relacionadas con el trabajo

Las enfermedades causadas por el trabajo agrícola varían considerablemente según las diferentes partes del mundo, y están condicionadas a factores diversos tales como el clima, la fauna, la densidad de población, las condiciones de vida, los hábitos alimentarios, las normas de higiene, el nivel de educación, la capacitación profesional, las condiciones de trabajo, el desarrollo tecnológico, la calidad de los servicios y el acceso a los mismos, etcétera.

Se pueden establecer las siguientes distinciones:

- a. enfermedades profesionales que tienen una relación específica o muy estrecha con el trabajo, generalmente con un solo agente etiológico y reconocidas como tales;
- b. enfermedades relacionadas con el trabajo, que generalmente tienen múltiples agentes etiológicos y en las que los factores del medio ambiente de trabajo pueden influir sobre su evolución;
- c. enfermedades ordinarias que afectan a los trabajadores, y que si bien no tienen una relación causal con el trabajo pueden agravarse a raíz del mismo.

La clasificación de las enfermedades conforme a tales distinciones varía a través del tiempo como resultado de la evolución en materia de:

- reconocimiento de los factores de riesgo y de la manera en que actúan;
- tecnologías para realizar diagnósticos;

- control y prevención de las enfermedades que tales factores de riesgo pudieran causar; y
- procesos de producción en la agricultura.

La mayoría de los países establecen listas de enfermedades que sus legislaciones clasifican como enfermedades profesionales en relación con las cuales, en determinadas circunstancias y dentro de cierto plazo de tiempo, pueden efectuarse reclamaciones de indemnización. Los diferentes sistemas de clasificación y la regularidad con que se revisan las listas de enfermedades reconocidas legalmente como enfermedades profesionales determinan la evaluación de la incidencia y prevalencia, a escala mundial, de ciertas enfermedades derivadas del trabajo.

Repercusiones de los procesos de producción agrícola sobre el medio ambiente

La contaminación ambiental provocada por la elección desafortunada y el uso excesivo de productos agroquímicos puede tener repercusiones negativas generalizadas, entre ellas la extinción de especies biológicas y cambios en el equilibrio ecológico. Lamentablemente, esto suele ocurrir como consecuencia de los métodos que aplican algunas grandes corporaciones interesadas principalmente en orientar su producción al mercado exportador para satisfacer la demanda de los mercados internacionales, en vez de adoptar un enfoque sostenible del desarrollo agrícola.

Los métodos utilizados en esos casos conciernen a los monocultivos intensivos y extensivos, que reducen la diversidad de especies vegetales en un área considerable y llevan a cabo una destrucción selectiva de plagas locales. La reducción de la diversidad de la flora y la fauna interrumpe el ciclo natural de control de las plagas y genera la necesidad de un mayor control mediante productos químicos. No obstante, los plaguicidas comerciales eliminan las plagas más vulnerables y dejan tras de sí a las más resistentes como resultado de una lucha entre las dos. Esto da lugar a un círculo vicioso en el que se requieren plaguicidas cada vez más nocivos que a su vez provocan nuevos efectos secundarios.

Otra consecuencia de los cultivos intensivos es que agotan los elementos específicos del suelo indispensables para los cultivos. A medida que el suelo se vuelve menos

fértil, se requieren dosis más frecuentes y concentradas de fertilizantes químicos para desarrollar las plantas. Se establece así un círculo vicioso en el cual se incrementan tanto los costos de producción como los costos relativos al mantenimiento de la salud de los trabajadores agrícolas.

Además, la agricultura extensiva provoca cambios en la superficie del terreno y en los lechos de los ríos. Elimina especies vegetales cuyas raíces profundas y abundantes mantienen el suelo, y permite entonces que el viento y el calor erosionen y sequen la tierra. Debido a esto, el agua de lluvia arrastra la capa de mantillo contribuyendo a empobrecer el suelo y ocasionando inundaciones como resultado de los desplazamientos de tierra y la destrucción de las riberas.

En diferentes partes del mundo se han notificado accidentes que provocaron la extinción masiva de camarones, peces y crustáceos como consecuencia de la contaminación de ríos durante fumigaciones aéreas y de la utilización de los ríos para lavar tanques y equipos empleados para la fumigación. Lo mismo puede decirse de la fauna doméstica, por ejemplo, abejas, ganado y animales acuáticos en las albercas. Las pérdidas económicas resultantes pueden ser extremadamente graves, como lo fueron en 1986 en Filadelfia (Costa Rica), en ocasión de la destrucción de 300 colmenas. Los agricultores pequeños y medianos están favorablemente dispuestos con respecto a la publicidad comercial y a los modelos de producción que los bancos rurales consideran dignos de financiación. Aunque no son responsables de los desastres ambientales, también contaminan el medio ambiente a través de la utilización frecuente de métodos inadecuados de aplicación y de gestión de desechos.

Conviene recordar que los plaguicidas organoclorados, entre ellos el DDT, la aldrina y otros, son compuestos extremadamente estables y, aunque muchos países los han prohibido, pueden permanecer en la tierra 30 años y más aún. Las plantas absorben gradualmente esas sustancias y las acumulan antes de que la contaminación inicie su trayectoria a través de toda la cadena alimentaria hasta llegar finalmente al consumidor.

Durante la década de 1980 se llevó a cabo un estudio sobre los efectos de los plaguicidas organoclorados sobre el ecosistema agrario y la cadena alimentaria en Argelia, Egipto, Ghana, Nigeria, República Unida de Tanzania, Uganda, Zambia y Zimbabwe. El estudio reveló que en general había altas concentraciones de residuos organoclorados en los peces, y que éstos eran escasos en las fuentes de agua próximas a las áreas en que se utilizaban esos plaguicidas. Las aves examinadas en Egipto y en la República Unida de Tanzania presentaban cambios degenerativos en el hígado, los riñones y el tejido nervioso. Los estudios sobre residuos de plaguicidas organoclorados (tales como el DDT) utilizados en la agricultura y en la fumigación de las aguas interiores de Zimbabwe para combatir la mosca tsetsé arrojaron resultados similares.

El uso de fertilizantes sintéticos que contienen nitratos contamina el suelo y provoca concentraciones particularmente elevadas de dichos nitratos en las aguas subterráneas. La contaminación suele originarse también a partir de abonos animales, residuos de origen humano, bacterias y plantas nitrificantes y otras fuentes geológicas; no obstante, los fertilizantes sintéticos son la principal causa de contaminación. Los nitratos en el agua potable y los alimentos tienen serias consecuencias para la salud, entre ellas, trastornos en la hemoglobina de los niños lactantes, que ocasionalmente pueden provocar la muerte (síndrome del niño azul), así como secuelas crónicas tales como cáncer de la sangre (linfoma distinto del de Hodgkin), cáncer de estómago y, en algunos casos, defectos congénitos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bayhan Y, Ulger P. 1997. Determination of wearing of chisel ploughshares, which are manufactured in Trakya Region under the field condition. 17th national congress on agricultural mechanization, September, Tokat-Turkey. pp. 357-364.
2. Cairo Cairo, P. y Quintero, G. 1980. Suelos. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad Habana. 367p.
3. Fielke Milton, J. 1996. Interaction of the cutting edge of tillage implements whit soil. *J. Agric. Eng. Res. (UK)*. 63: 61-72.
4. Herrera Suárez, M. y col. 2006. Empleo de nuevos materiales en la fabricación de órganos de trabajo para le laboreo de los suelos abrasivos. Informe de Investigación Terminada. Proyecto Nacional Programa Nuevos Materiales y Materiales de Avanzada. Co: B-27. 2006: Diciembre.
5. Kushwaha RL, Shi J. 1991. Investigation of wear of agricultural tillage tools. *J Soc Tribol Lubr Eng* 47(3):219-22.
6. Martínez, F y Rodríguez, G. «El desgaste abrasivo de los suelos». Monografía. Ciudad de la Habana. Ediciones ISPJAE. 1988.
7. Martínez, F y Rodríguez, G. «Selección de aceros y tratamientos térmicos para el trabajo con suelos». Construcción de Maquinarias. (Ciudad de la Habana). No.3. 1984.
8. Álvarez, E., Tribología, Apuntes para un libro de texto, Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas. 2000.
9. Babin, M., Experimentación del desgaste en acero ante condiciones de fricción superficial abrasiva, Moscú URSS, AH CCCP ,1974.
10. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO: La Ingeniería Agraria en el desarrollo. Directrices para reconstruir piezas y conjuntos de repuestos. Roma, 1991.
11. Camberly .Electrode for exellent abrasion coupled with good impact resistance.Group Canadian stoves.www.canadian-antiquetoves.com/index.htm. 2001.
12. CIME, Grupo Científico Técnico, Recuperación de piezas por el método de Soldadura, Publicaciones IMAGO, 1996.

13. Da Silva, A. *et al.*: Correlación entre las características geométricas de cordones de soldadura de relleno y la resistencia al desgaste abrasivo. II Encuentro de Ingeniería de Materiales. La Habana. Septiembre 1998.
14. Ermolov, C., Tipos de deterioros y destrucción de las piezas en la técnica agrícola, Editorial Bishaya Shcola, Moscú URSS, 1983.
15. Glizmanenko, D.L: Soldadura y corte a gas, 2da ed. Ed. Pueblo y Educación, 1983.
16. Guinadse, A., Modulación del desgaste durante el desplazamiento de materiales por arena, Minsk URSS, BPI, 1989.
17. J. García, J. Sikora, H. Dall'O, Sustitución de elementos de labranza de acero por ADI: Estudio Tribológico comparativo entre experiencias de campo y de laboratorio, in: Proceedings of the TRIBOS'94, Jornadas Tribológicas de la Rca. Argentina, Centro Argentino de Tribología, Buenos Aires, Argentina, 1994.
18. J.D. Gates, Two body and three-body abrasion: a critical discussion, *Wear* 214: 139-146, 1994.
19. Jrushkov, M., Desgaste abrasivo, Moscú URSS, Editorial Nauka, 1970.
20. Jrushkov, M., Dinámica del desgaste en las piezas de máquinas, Editorial Mashinoestroyenie, 12-15, Moscú URSS, 1980.
21. Jrushkov, M., Investigación sobre el desgaste en materiales, Moscú URSS, AH CCCP, 1968.
22. K. Hokkirigawa, K. Kato, Z. Li, The effect of hardness on the transition of the abrasive wear mechanism of steels, *Wear* 123, 241-251, 1988.
23. Key to steel. Influence of Alloying Elements on Steel Microstructure. www.keyto-steel.com/articles/art21.htm. 2002.
24. Martínez, Francisco. Fundamentos teóricos del desgaste abrasivo. *Revista Construcción de maquinaria*. Vol. 3 No. 2, 1983.
25. Metodología de investigación para el alargamiento de la vida útil de los órganos de trabajo de implementos agrícolas. IIMA. La Habana, 1997.
26. Misra, V. N.: Prereduction of manganese ore for manganese smelting. Pap 14th congress coun. Mining an met. Inst. Edinburgh. Julio del 1990.
27. MWA International LTD. Welding electrodes and alloys. www.mwainternational.com/detail.asp. 2002.

28. Ortiz T. et al.: Salud y seguridad en la soldadura. Memorias del Evento COMET 2000. Santa Clara. Nov. Del 2000.
29. Pérez Boullón, O.: Estudio integral de caracterización de un fundente aglomerado con matriz fundida para la recuperación de piezas por S.A.A.S. Tesis de Maestría. U.C.L.V. 1997.
30. Q. Luo, J. Xie, Y. Song, Effects of microstructures on the abrasive wear behavior of spheroidal cast iron, *Wear* 184 (1995) 1-10.
31. R. Dommarco, P. Bastias, H. Dall'O, G. Hahn, C. Rubin, Rolling contact fatigue (RCF) resistance of austempered ductile iron (ADI), *Wear* 221 (1998) 69-74.
32. R.C. Dommarco, H.A. Dall'O, H.R. Ortiz, Resistencia a la Abrasión-Erosión en A.D.I., in: Proceedings of the Jornadas Metalúrgicas, Sociedad Argentina de Metales (S.A.M.), Buenos Aires, Argentina, 1991, pp. 99-102.
33. Ring, T. A.: Fundamentals of ceramics processing and synthesis. Academic Press. San Diego 1996.
34. Rostek, M. *et al.*: Surfacing by the submerged arc and electroslag processes with use of alloys flux. *Rev. Soldadura y Tecnologías de Unión* Vol. 5 No. 30 Nov-Dic. 1994.
35. Stukalo, V. A. et al.: [74] Actividad termodinámica de los fundentes del sistema MnO-SiO₂. *Abtomatichescaya Sbarka* N°1 del 1987.
36. Tenenbaum, M., Resistencia al desgaste de los materiales de construcción y piezas de máquinas, ante el desgaste por abrasión, Editorial Mashinoestroyenie, Moscú URSS, 1986.
37. Welding. Effect of alloying elements on weldability. www.welding.com/w15.html. 2000.