

# Estudio de la modificación de la composición química en depósitos de soldadura GMAW, empleando diferentes proporciones en la mezcla CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> como gas de protección.

**E. Díaz Cedré\*, F. Ramos Morales\*, A. Cruz Crespo\*, M. Rodríguez Pérez\*, J. A. Pozo Morejón\*, M. Tello Rico\*\*, J. Chaparro González\*\*.**

\*Centro de Investigaciones de Soldadura. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní Km. 5 ½, Santa Clara. Villa Clara. Cuba.

e-mail: cedre@fim.uclv.edu.cu Teléfono: (422) 281586, Fax: (422) 281608

\*\* Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)

Ave. Pie de la Cuesta. Desarrollo San Pablo

Querétaro. Querétaro. México

Teléfono: (42) 2110807

(Recibido el 21 de Noviembre de 2004, aceptado el 14 de Enero de 2005)

## Resumen.

En el presente trabajo se estudia el efecto que sobre la composición de los depósitos soldados, empleando el proceso GMAW, tiene la modificación de la proporción entre los gases activos CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. En el mismo se realiza un análisis de la modificación de la atmósfera protectora y como se afecta el carácter oxidante de esta. A partir de esto se analizan los procesos de oxidación que ocurren al metal que se transfiere a través de la columna del arco. Se obtienen gráficos del comportamiento de los elementos de aleación con la modificación de la atmósfera y las ecuaciones de regresión a las que responden estos comportamientos.

**Palabras claves:** Soldadura, GMAW, mezcla de gases, gases activos.

## 1. Introducción.

Desde los años 60s se aprecia, en el mundo, una tendencia a mezclar los gases simples usados en la protección durante el proceso GMAW con el objetivo de variar favorablemente las propiedades tecnológicas del arco eléctrico, respecto a las propiedades que este tiene al desarrollarse protegido por gases simples. Es útil señalar que el gas o mezcla de gases usado en la protección va a influir en la forma de transferencia de metal, en la forma del cordón, en la penetración, en el aspecto de la soldadura, en las propiedades físico-tecnológicas del arco, en la aleación del metal y en los niveles de contaminantes generados [1, 13], etc.

A pesar de esa práctica, la utilización de mezclas de gases base en Cuba no se utiliza. El único gas empleado para la protección del proceso GMAW es el CO<sub>2</sub>, motivado fundamentalmente por su fácil producción con respecto al Argón. Es por ello que las mezclas que utilizan este gas como base poseen unas elevadas

perspectivas de empleo en la soldadura de los aceros al carbono y de baja aleación en nuestro país.

Estas mezclas de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> fueron propuestas por J. Sekeguchi e I. Masamoto [2]. Se ha aplicado fundamentalmente en Japón y los países miembros de la antigua URSS para la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación en rangos desde 15% hasta 30 % de O<sub>2</sub>. Las mismas prácticamente no se conocen en occidente. Se reportan como ventajas fundamentales de esta, con respecto al CO<sub>2</sub> puro, [3,10] el aumento de la estabilidad del arco, el mejor encendido del arco, disminución de las salpicaduras, aumento de la profundidad de penetración. También K. A. Lyttle [8] reporta por que la adición de O<sub>2</sub> en las mezclas de gases la torna más oxidante, y esto tiende a disminuir la transferencia de los elementos de aleación presentes en el alambre de soldadura hacia el depósito. Esta pérdida de elementos tales como el Mn, Si, Ti entre otros, puede redundar en una alteración de las propiedades del cordón.

Todos estos elementos unidos a que la Lincoln Electric Company, en su Weld Metal Selector Guide [7] recomienda el empleo de mezclas  $CO_2 - O_2$  para la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación, originaron que se decidiera investigar más profundamente el comportamiento de estas mezclas, partiendo de los gases simples de producción nacional, los cuales como características principales están sus altos niveles de impurezas, particularmente el  $CO_2$ . El cual dado su origen (subproducto de la industria azucarera) es de grado alimenticio estando muy lejos de cumplir los requerimiento que el debe poseer para soldadura.

## 2. Materiales y métodos.

### Planteamiento de la técnica.

Para la determinación de la influencia de la composición de la mezcla de gas de protección  $CO_2 + O_2$  en la composición química de los depósitos, se utilizó como variable de entrada  $X_1$  el porcentaje de oxígeno que se le adiciona al  $CO_2$ . Los valores adicionados de oxígeno fueron tomados de la literatura [3], la cual establece que esta entre un 15 y 30 % de  $O_2$ . Para lo cual se tomo una variación de 5 % con respecto al  $CO_2$  puro. Quedando los experimentos como aparecen en la tabla 1.

Con respecto a las variables respuestas  $Y_1$  y  $Y_2$  se tomaron las cantidades de silicio y manganeso que quedaron en los depósitos, ya que estas cantidad presentes son un indicador real de la capacidad de reacción de la mezcla de gas con el metal de baño a las temperaturas del arco

### Materiales y equipos utilizados en los experimentos.

Para la realización de los experimentos se partió de la norma Norma AWS A 5.18-98. La que establece, que los depósitos para la realización de análisis químicos en soldadura deben efectuar sobre una placa de acero de bajo porcentaje de carbono (ASTM A-36) de 10 mm de espesor por 50 mm de ancho y 100 mm de largo, como se aprecia en la figura 1.

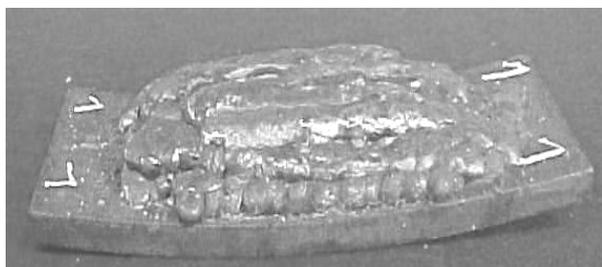


Figura 1. Muestra soldada

Tabla 1. Realización de los experimentos

Muestra	Composición de la atmósfera protectora
1	100% $CO_2$
2	$CO_2 + 10\% O_2$
3	$CO_2 + 15\% O_2$
4	$CO_2 + 20\% O_2$
5	$CO_2 + 25\% O_2$
6	$CO_2 + 30\% O_2$

El alambre electrodo evaluado fue un INDURA 70S-6 el cual responde a la clasificación AWS ER 70S-6 de diámetro 1.00 mm amparado por la norma antes referida. Al mismo se le practicó un análisis de composición química arrojando los resultados que aparece en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química del alambre-electrodo.

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0.075	0.875	1.51	0.012	0.007

### Equipamiento de soldadura a utilizar.

Para la realización de los experimentos se utilizó un equipo de soldadura semi automática bajo gases protectores marca LINCOLN ELECTRIC modelo IDEALARC CV-300, con un alimentador de alambre modelo LN-742, cuya pistola se monto sobre un tractor de soldadura GO-FER III. Como se muestra en la figura 2.

Para la obtención de la mezclas de gases a evaluar, se desarrolló en el CIS-UCLV un mezclador de gases de chorro [12], el cual fue el encargado de suministrar los caudales de gases necesarios. Ver figura 3

### Realización de los depósitos.

Para la realización de los depósitos fue necesario cumplir lo estipulado en AWS A 5.18-98. Entre los cuales estuvieron:

- 1- Le deposito se realizo en posición plana.
- 2- La temperatura inicial de la prueba fue ser mayor de  $16^\circ C$  y menor de  $164^\circ C$
- 3- La escoria se elimino después de cada pasada.
- 4- Las muestras fueron templadas en agua después de cada pasada.
- 5- El régimen de aplicación fue:

Corriente de soldadura (a)	260-290
Voltaje de arco (v)	26-30
Longitud libre del electrodo (mm)	$19 \pm 3$
Velocidad de soldadura (mm/seg)	$5.5 \pm 0.5$
Veloc. de aliment. del alambre (mm/seg)	$190 \pm 5\%$
Flujo de gas de protección (l/min.)	16

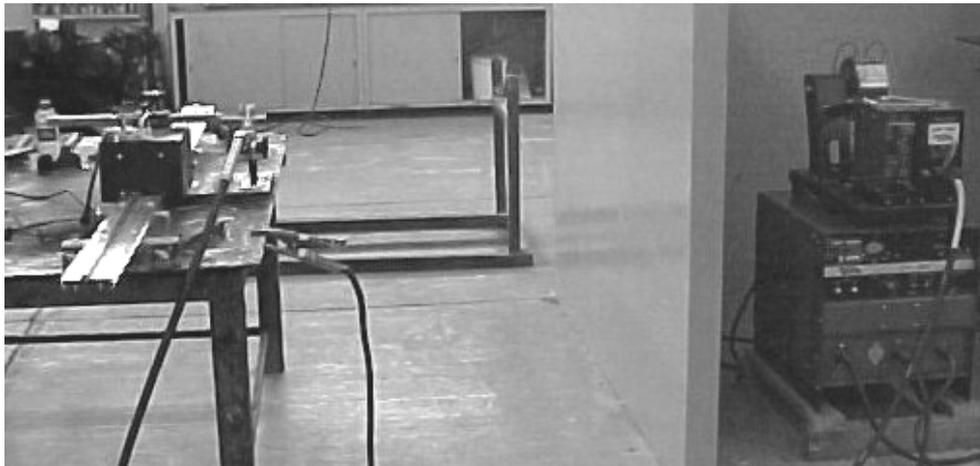


Figura 2. Equipamiento de soldadura utilizado

### 3. Obtención de los resultados.

#### Composición Química de los Depósitos.

A las muestras obtenidas se les realizó análisis químicos según la ASTM E 415-99. Un resumen de los resultados obtenidos de análisis químico para depósitos realizados con diferentes mezclas de gas se presenta en la tabla 3.

Tabla 3: Composición química de los depósitos.

% de Oxígeno	%C	%Si	%Mn	%P	%S
0	0.08	0.74	1.26	0.012	0.006
10	0.07	0.79	1.28	0.015	0.009
15	0.07	0.6	1.07	0.012	0.006
20	0.06	0.56	1.01	0.011	0.006
25	0.06	0.53	0.95	0.012	0.006
30	0.05	0.36	0.67	0.012	0.006



Figura 3. Mezclador de gases.

#### Procesamiento de los resultados.

Los resultados fueron analizados a través del software STATGRAF donde se analizó estadísticamente los mismos. De estos datos se obtuvo mediante un análisis de regresión las curvas (ver figura 4 y 5 y las ecuaciones 1.1 y 1.2 ) ajustadas que se aprecian a continuación

$$Mn=0.0007X^2+0.0024X+1.2679..... ..1.1$$

$$R^2 = 0.9415$$

$$\text{Coeficiente de Correlación} = -0,960284.$$

$$\text{Error Standard} = 0,0710868.$$

$$Si=0.0005X^2+0.0007X+0.7549..... ..1.2$$

$$R^2 = 0.8987$$

$$\text{Coeficiente de Correlación} = -0,956634.$$

$$\text{Error Standard} = 0,051858.$$

#### Determinación de inclusiones no metálica (INM) en los depósitos.

Debido al aumento del carácter oxidante de la atmósfera del arco, y con vista a determinar como influiría esta en la formación de INM debido a la perdida de elementos como el Mn y el Si y a la formación de SiO<sub>2</sub> y MnO, los que pueden quedar en el metal en forma de inclusiones. Se aplico un análisis de INM mediante MEB a lo depósitos unido a microanálisis químico de las INM. En las figuras 6, 7, 8 y 9 se pueden observar las micrografías de los depósitos realizados con 100 % CO<sub>2</sub> y los realizados con las mezclas 80% CO<sub>2</sub> + 20 % O<sub>2</sub>.

### 4. Análisis de los resultados.

#### Composiciones químicas de los depósitos.

Según se puede analizar en las graficas de la figuras 4 y 5 en la medida que aumenta la cantidad de oxígeno

presente en la protección, se presenta una disminución de los elementos de aleación, (Mn y Si) los cuales según [4] se pierden por concepto de oxidación, tanto con el oxígeno disuelto en el metal como el que esta presente

en la atmósfera del arco, de acuerdo a las reacciones 1.1 a 1.4. Estos óxidos generan contaminantes pueden quedar atrapados en los deposito.

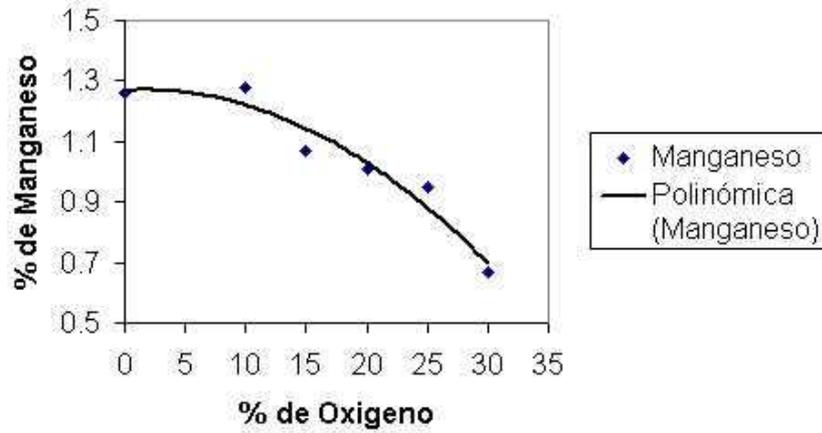


Figura 4. Relación entre el porcentaje de oxígeno en la mezcla y la cantidad de manganeso del depósito.

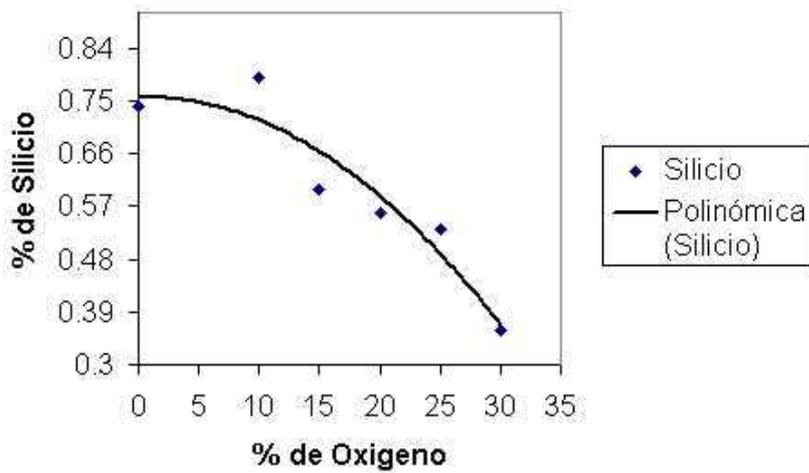


Figura 5. Relación entre el porcentaje de oxígeno en la mezcla y la cantidad de silicio del depósito.

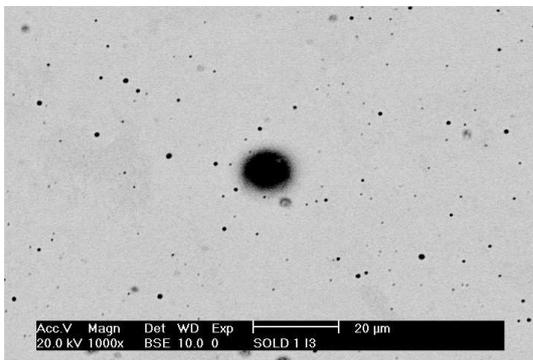


Figura 6. Distribución de INM en los depósitos realizados con 100 % CO<sub>2</sub>.

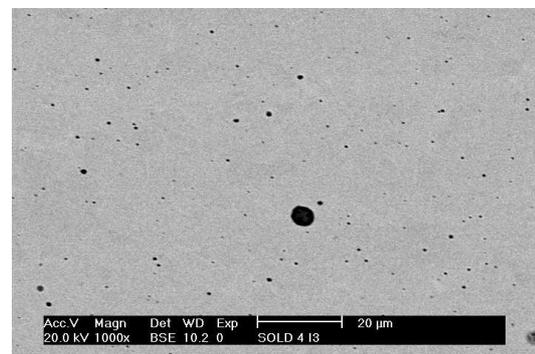


Figura 7. Distribución de inm en los depósitos realizados con 80 % CO<sub>2</sub> + 20 % O<sub>2</sub>

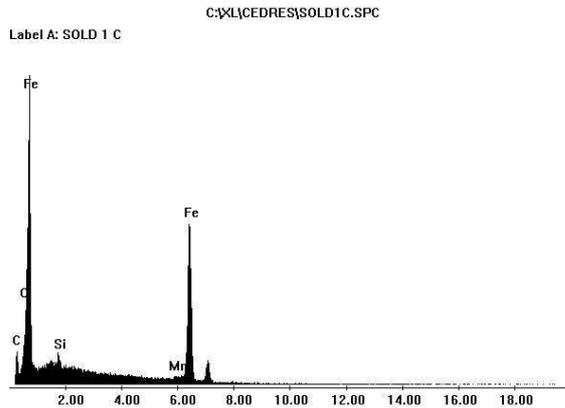


Figura 8. Microanálisis de una inm en los depósitos realizados con 100 % CO<sub>2</sub>.

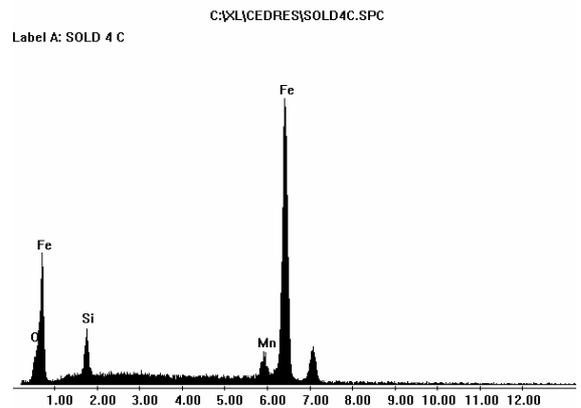
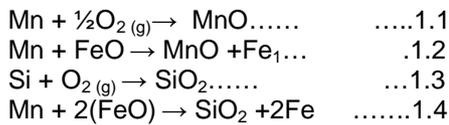


Figura 9. Microanálisis de una inm en los depósitos realizados con 80 % CO<sub>2</sub>+ 20 % O<sub>2</sub>.



Para la probar esta afirmación, es preciso determinar cual de los dos medios protectores genera la mayor la cantidad de oxígeno, con lo cual se favorece las reacciones de oxidación con el manganeso y el silicio, tomaremos para este estudio una mezcla patrón (80/20) y la comparamos con el CO<sub>2</sub> puro.

A través de análisis de disociación, según [11] se llegaron a los siguientes resultados:

**Caso # 1: 80 % CO<sub>2</sub> + 20 % O<sub>2</sub>.**

Flujo total del gas de protección: 16 L / min.  
A través de cálculos tecnológicos se obtiene:  
F CO<sub>2</sub> = 12.8 L / min.  
F O<sub>2</sub> = 3.2 L / min.

Tabla 4: Composición final de la mezcla de gases.

Sustancia	CO <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	O <sub>d</sub>
Masa (g / min.)	9.12	0.04	0.87	15.25

**Caso # 2: 100 % CO<sub>2</sub>**

Flujo total del gas de protección: 16 L / min.  
A través de cálculos tecnológicos se obtiene:  
F CO<sub>2</sub> = 16 L / min.

Tabla 5: Composición final de la atmósfera.

Sustancia	CO <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	Od
Masa (g / min.)	11.44	0.05	0.63	14.09

En correspondencia con los resultados de las tablas 4 y 5 se hace evidente que con las mezclas de gases, donde esta presente el oxígeno, favorecen las reacciones de oxidación de Mn y el Si. De acuerdo a esto, seria de esperar que las muestras con mayores concentraciones de oxígeno presentaran las mayores concentraciones de inclusiones no metálicas. Sin embargo si observamos la figura 6 y la comparamos con la 7 podemos apreciar que la distribución de la INM en la primera es menor que en la segunda, aspecto que según la literatura consultada [4] esta dado a que debido a un aumento en el concentración de oxígeno en la atmósfera del arco, lo que facilita las reacciones de oxidación de gran parte del Mn y el Si presente en el metal de aporte, esta reacción exotérmica posibilita que el baño esté en estado liquido mucho mas tiempo si se compara con la atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub>, lo que posibilita la salida de todas las inclusiones de SiO<sub>2</sub> y MnO disueltas en el metal fundido. Además de esto, por esta misma causa, las propiedades del metal depositado se pudieran favorecer debido a la disminución del contenido del hidrogeno difundido en el metal depositado.

**5. Conclusiones.**

- El aumento del contenido de oxígeno en la mezcla, provoca un aumento de la presión parcial del oxígeno en la atmósfera protectora, un aumento del oxígeno disuelto en el metal y una intensificación de las reacciones de oxidación de los elementos de aleación del alambre.
- El empleo de alambres aleados con Mn y Si durante la soldadura de aceros al carbono de baja aleación en presencia de mezclas de gases oxidantes para la soldadura GMAW se justifica, precisamente, por la necesidad de desoxidar debido al aumento del contenido de oxígeno disuelto en el metal. Con el

empleo de un alambre adecuado no hay peligro de disminución de las propiedades mecánicas producto de la presencia de oxígeno en el metal de la costura.

## 6. Bibliografía.

1. American Welding Society. Welding Handbook. T I. Miami, Florida 1996.
2. Asnis .A.E. "Twin-electrode welding in CO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub> mixture using up 150 m/h speed" Soldadura Automática No 7 1980.
3. Beluaev.V.N. "Effect of oxygen content CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub> mixture on some characteristics of weld metal". Soldadura Automática.No 5. 1985. (Ruso)
4. Francis.R.E." Efecct of shielding gas oxygen activity on weld metal microstructure" Welding Journal No 11 1990
5. Hougen, O A. Principios de los Procesos Químicos. Parte II Termodinámica. Editorial Pueblo y Educación. La Habana 1979.
6. Lancaster, J F. Metallurgy of Welding. Chapman and Hall. London 1993.
7. Lincoln Electric Company. The Procedure Handbook of Arc Welding. Cleveland, Ohio 1994.
8. Lyttle, K A; Stapon, W FG. Select the best shielding gas blend for tha application. Welding Journal. Volume 69. Number 11. November 1990.
9. Potapov, N N. Oxygen effect on Low – Alloy Steel weld metal properties. Welding research supplement. Welding Journal. Volume 72. Number 8. August 1993.
10. Poklodi.V.R ."Experience of industrial application of welding in CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub> mixture" Soldadura automática. No 8 .1997 (Ruso)
11. Quintana Puchol, Rafael. Procesos Metalúrgicos de la soldadura por arco eléctrico. Guía de estudio para la Maestría en Ingeniería Mecánica. UCLV 1998.
12. Ramos Morales F. "Atmósfera protectora para la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación mediante proceso GMAW". Tesis de Maestría. CIS-UCLV.2002
13. Voskoboynikov, V G; Kudrin, V A ; Yakushev, A M. Metalurgia General. Editorial MIR. Moscú 1982.

## Chemical composition modification study of the GMAW welding deposits using different proportions in the CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> mixture as protection gas.

### Abstract.

Presently paper presents the effect that has the welded depositions on the chemical composition, using the GMAW process, and the modification of the proportion among the active CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> gases. It is carried out an analysis of the atmosphere protector's modification, as this affects the oxidizer character and starting from this, processes of oxidation that happen to the metal that is transferred through the arc column. Graphics of the behavior of the alloy elements are obtained with the modification of the atmosphere and the regression equations response.

**Key Words.**Welding, GMAW, Mixture of Gases, Active Gases.