

Carburización Gaseosa por Generación Endotérmica

Este artículo presenta los factores más importantes que regulan el proceso de carburización gaseosa en aceros por generación endotérmica a partir de gas propano y hace parte de la línea de investigación "Tratamientos Termoquímicos en los Aceros" la cual desarrolla la Sección de Metalurgia, adscrita al Instituto de Ensayos e Investigación.

ALVARO CASTRO P.
Ingeniero Mecánico. M.Sc.
Director Departamento de
Ingeniería Mecánica

El tratamiento termoquímico de cementación gaseosa consiste fundamentalmente en la incorporación de carbono en la superficie de los aceros por medio de una mezcla gaseosa que se introduce en un horno el cual contiene piezas de acero que se van a carburizar a elevada temperatura.

Por medio de este proceso se persigue conseguir superficies resistentes al desgaste y núcleos tenaces.

Factores que controlan el flujo de carbono en el acero

Se pueden dividir en dos clases, aquellos que se relacionan con el medio cementante y los que tienen que ver con las características del acero.

El comportamiento del medio cementante se puede evaluar por medio de los siguientes factores:

- 1) **Título o potencial de carbono (Pc).** Expresa la cantidad máxima de carbono que puede alcanzar la superficie de un acero independientemente del tiempo que necesite para lograrlo. Como es de suponer este potencial depende del tipo de atmósfera que se esté utilizando.
- 2) **Actividad del carbono (Ac).** Indica la velocidad con que el carbono del medio cementante puede depositarse en la superficie del acero. Generalmente

se expresa como cantidad en gramos de carbono absorbido por centímetro cuadrado y por segundo.

La capacidad de un acero para permitir la inclusión de carbono en la superficie depende también de dos factores:

- 1) **Velocidad de difusión (Vd).** Velocidad con que el carbono de la superficie del acero es transportado hacia el interior del mismo. Este factor es función a su vez de la temperatura de carburización y de la composición del acero.
- 2) **Concentración de saturación (Cs).** Cantidad máxima de carbono que puede disolver la austenita a las temperaturas de cementación. En los aceros al carbono viene dada por la línea de transformación Acm.

La Figura 1 muestra la relación existente entre los cuatro factores anteriormente mencionados, así como las combinaciones posibles que se pueden presentar en el proceso de cementación.

Atmósferas protectoras y carburizantes

Las tablas 1 y 2 presentan la clasificación y las aplicaciones de las principales atmósferas controladas que se utilizan en la industria.

Atmósferas endotérmicas

En los últimos 15 años se ha desarrollado notablemente el uso

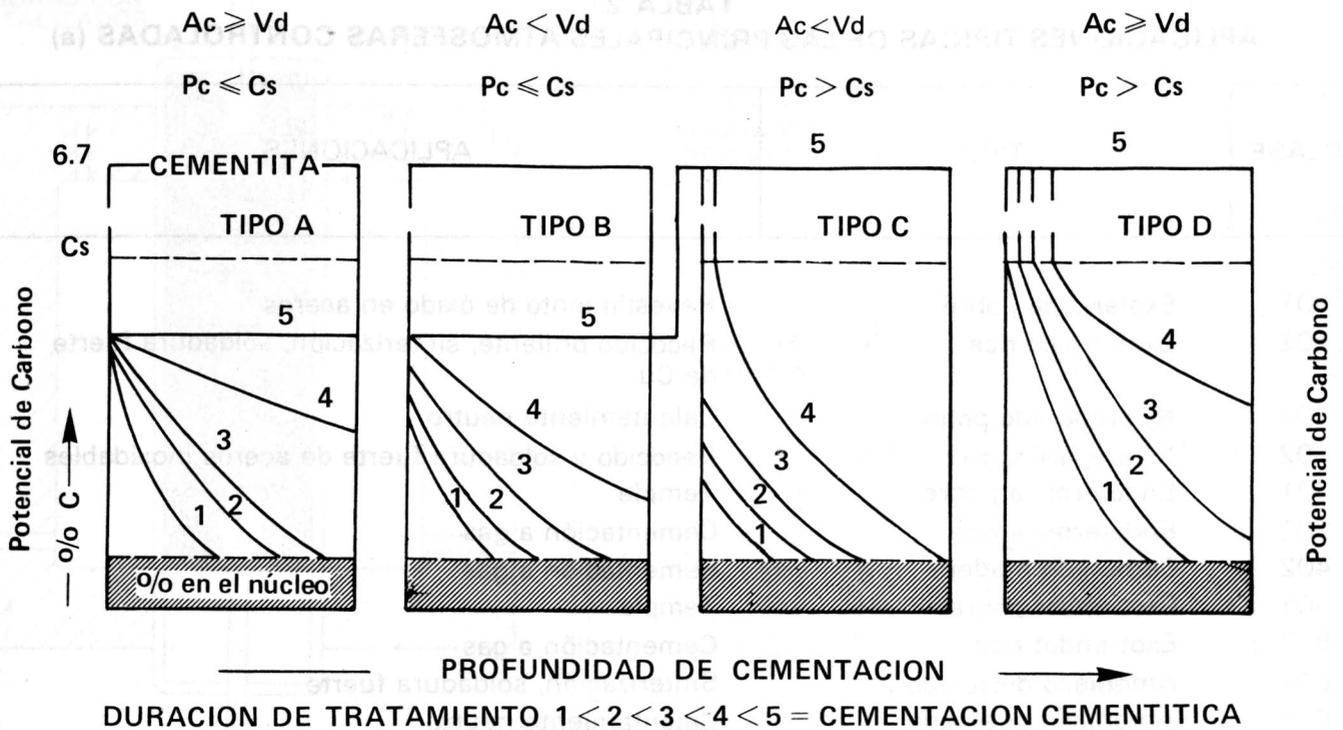


FIGURA 1. Combinaciones posibles que se pueden presentar en el proceso de cementación.

TABLA 1

CLASIFICACION DE LAS PRINCIPALES ATMOSFERAS CONTROLADAS

CLASE	TIPO	COMPOSICION NORMAL % EN VOLUMEN				
		N ₂	CO	CO ₂	H	CH ₄
101	Exotermica pobre	86.8	1.5	10.5	1.2	—
102	Exotermica rica	71.5	10.5	5.0	12.5	0.5
201	Nitrogeno preparado pobre.	97.5	1.7	—	1.2	—
202	Nitrogeno preparado rico.	75.3	11.0	—	13.2	0.5
301	Endotermica pobre	45.1	19.6	0.4	34.6	0.3
302	Endotermica rica	39.8	20.7	—	38.7	0.8
402	Carbón de madera	64.1	34.7	—	1.2	—
501	Exot-endot pobre	63.0	17.0	—	20.0	—
502	Exot-endot rica	60.0	19.0	—	21.0	—
601	Amoniaco disociado	25.0	—	—	75.0	—
621	Amoniaco quemado pobre	99.0	—	—	1.0	—
622	Amoniaco quemado rico	80.0	—	—	20.0	—

TABLA 2
APLICACIONES TÍPICAS DE LAS PRINCIPALES ATMOSFERAS CONTROLADAS (a)

CLASE	TIPO	APLICACIONES
101	Exotérmica pobre	Revestimiento de óxido en aceros
102	Exotérmica rica	Recocido brillante, sinterización, soldadura fuerte de Cu.
201	N ₂ preparado pobre	Calentamiento neutro
202	N ₂ preparado rico	Recocido y soldadura fuerte de aceros inoxidables
301	Endotérmica pobre	Temple
302	Endotérmica rica	Cementación a gas
402	Carbón de madera	Cementación a gas
501	Exot-endot pobre	Temple
502	Exot-endot rica	Cementación a gas
601	Amoníaco disociado	Sinterización, soldadura fuerte
621	Amoníaco quemado pobre	Calentamiento neutro
622	Amoníaco quemado rico	Sinterización de aceros en polvo

a) Estas atmósferas pueden ser usadas para muchos otros procesos, dependiendo de la disponibilidad y costo de materiales, volumen de gas requerido, duración del proceso y equipo disponible.

de atmósferas controladas obtenidas en generadores endotérmicos con la finalidad de proteger las piezas de acero contra la oxidación y la descarburización o para cementarlas.

Las atmósferas endotérmicas se obtienen haciendo pasar una mezcla de aire y combustible (metano o propano) por una retorta que tiene un catalizador (óxido de níquel) a alta temperatura (950°C a 1.050°C). El gas obtenido (endogas o gas portador) es enfriado drásticamente para evitar la reversibilidad de las reacciones y luego es conducido al horno donde se va a realizar el tratamiento térmico (Figura 2). El potencial de carbono deseado dentro del horno se regula generalmente con adiciones de cantidades bien definidas de gas enriquecedor (metano o propano).

La gran utilización de las atmósferas de tipo endotérmico se basa

en la facilidad de producirlas y controlarlas, así como en el bajo costo de mantenimiento de los generadores.

Entre las desventajas se pueden mencionar:

- 1) La activa reacción con el cromo para formar carburos impidiendo su uso en los tratamientos térmicos de la mayoría de los aceros inoxidables.
- 2) La tendencia a formar mezclas explosivas cuando entra la atmósfera en contacto con el aire, debido a la alta concentración de hidrógeno y monóxido de carbono.
- 3) La tendencia a precipitar carbón (hollín) cuando se trabaja a bajas temperaturas.

Las aplicaciones típicas de estas atmósferas son:

1. Obtención de elevadas durezas en los aceros de cualquier contenido de carbono al evitar la

descarburización total o parcial de su superficie.

2. Recocido y normalizado de aceros de cualquier contenido de carbono sin presentar oxidación o descarburización.
3. Restauración superficial de piezas de acero descarburizadas durante la forja o tratamiento térmico inadecuado.
4. Utilización como gases portadores en procesos de cementación y carbonitruración.

Reacciones de oxidación en el generador

Las principales reacciones de oxidación o disociación se realizan a partir del metano o del propano, estas son:

1. Gas endotérmico de metano:

$$\text{CH}_4 + 2.381 (0.21\text{O}_2 + 0.79\text{N}_2) \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2 + 1.881\text{N}_2$$
 Composición teórica: 20.50% CO, 38.50% H₂, 38.50% N₂

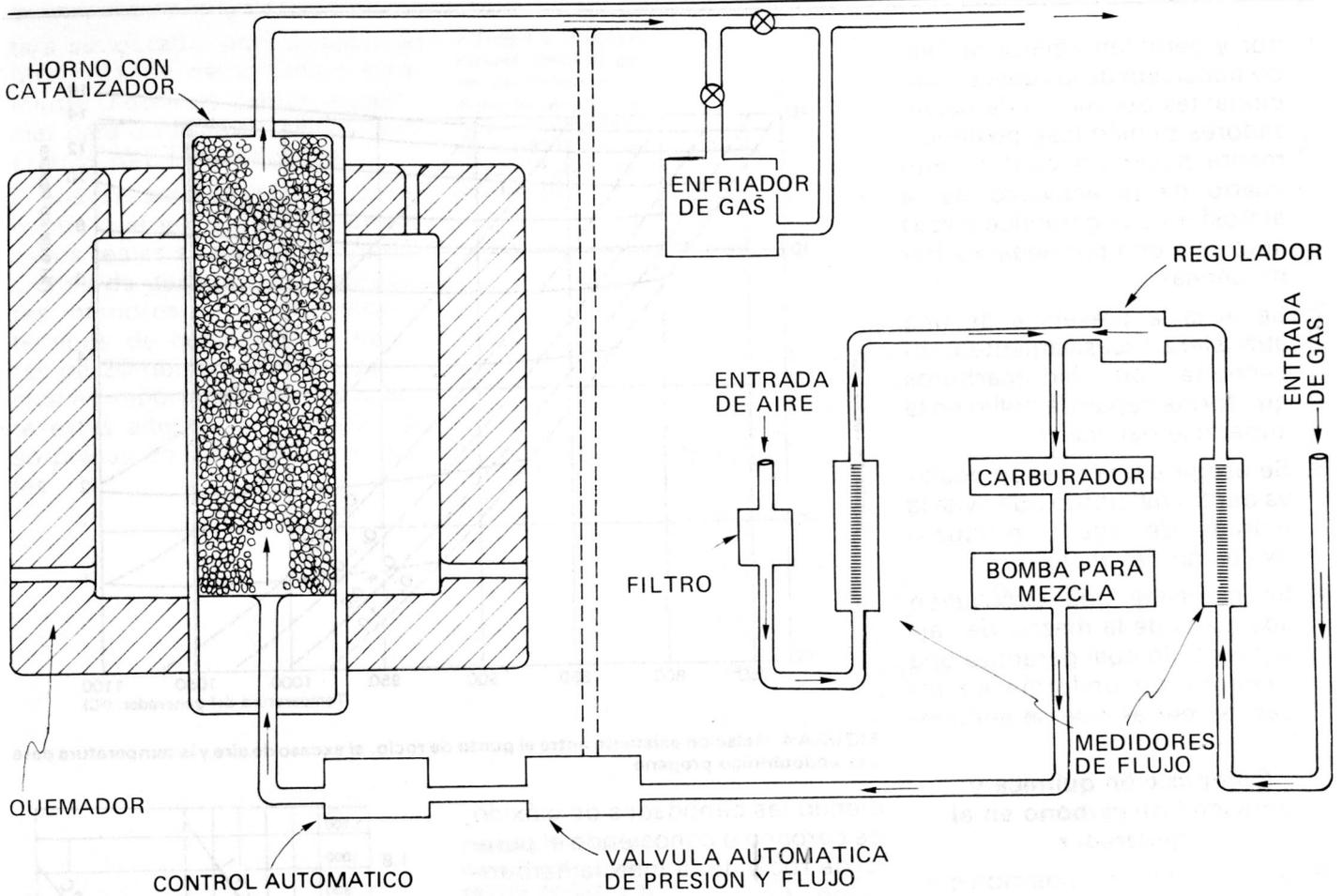
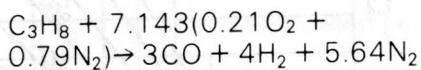


FIGURA 2. Diagrama esquemático de un generador endotérmico utilizado en el proceso de cementación gaseosa.

2. Gas endotérmico de propano:



Composición teórica:
23.75%CO, 31.60%H₂,
44.65%N₂

Universalmente se ha aceptado que el agente cementante real es el monóxido de carbono, de acuerdo con la siguiente reacción:



El carbono penetra en el acero y el bióxido de carbono se regenera para formar nuevamente monóxido.

Las ventajas de utilizar en el horno de tratamiento térmico un gas portador como el endotérmico en lugar de introducir en el mismo la mezcla de aire y combustible (práctica que se realizó en un comienzo con muy malos resultados) se pueden sintetizar en los siguientes puntos:

1. Las reacciones químicas se llevan a cabo dentro del genera-

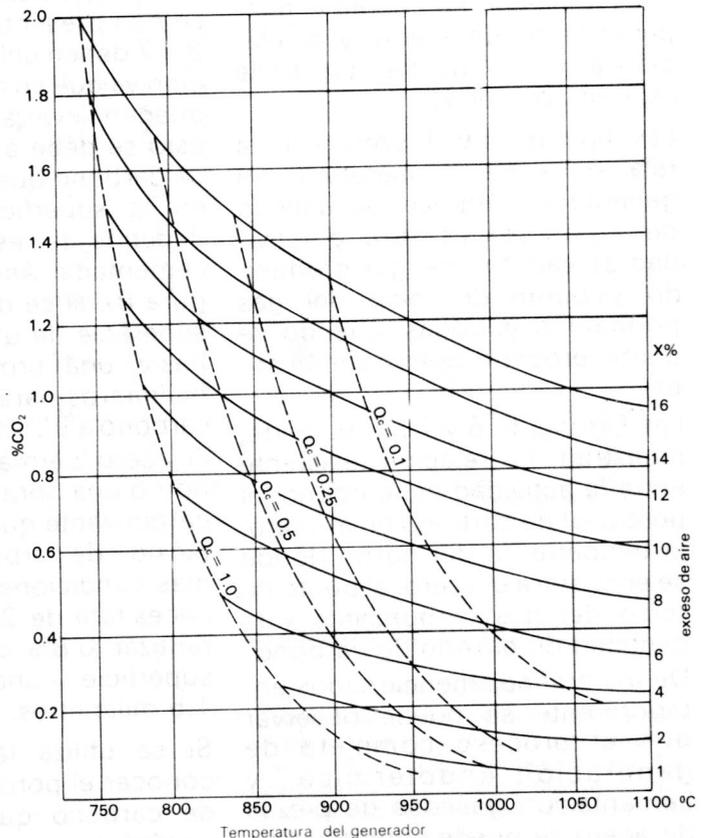


FIGURA 3. Relación existente entre el porcentaje de CO₂, el exceso de aire y la temperatura para gas endotérmico de propano.

dor y permiten agilizar la descomposición de los gases reaccionantes por medio de catalizadores pudiéndose posteriormente hacer un control adecuado de la actividad de la atmósfera que garantice piezas limpias y con propiedades homogéneas.

2. Se evita la presencia de una atmósfera excesivamente concentrada con hidrocarburos que forma capas de hollín en la superficie del acero.
3. Se asegura una presión positiva dentro del horno que evite la entrada de aire y produzca oxidación del acero.
4. Se mantiene una circulación adecuada de la mezcla de carburizante lo cual garantiza una cementación uniforme en todas las piezas que se encuentren en el horno.

Composición química y actividad de carbono en el generador

Para conocer la composición química y la actividad del carbono de una mezcla generada a partir de un hidrocarburo, se hace uso de las ecuaciones que regulan el proceso de descomposición química, teniendo en cuenta la temperatura del generador y la relación aire-combustible que se le esté introduciendo.

Las figuras 3 y 4 presentan la relación entre temperatura del generador, cantidad de bióxido de carbono, exceso de aire, actividad de carbono del gas producido y punto de rocío del gas portador o endogas, cuando se utiliza propano como combustible.

Las Figuras 5, 6 y 7 por su parte, muestran la relación existente entre la actividad del carbono, el potencial de carbono en el acero, la temperatura del horno donde se encuentra el acero, el punto de rocío del gas carburizante y la cantidad de bióxido de carbono. De los gráficos mencionados anteriormente se puede observar que el proceso completo de generación endotérmica y cementación gaseosa de piezas de acero se puede controlar mi-

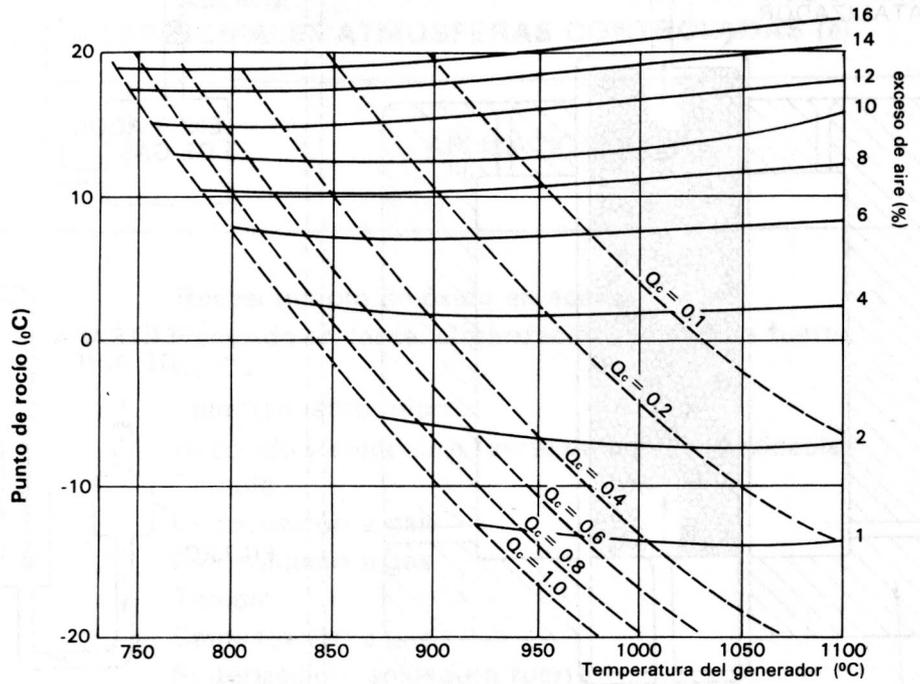


FIGURA 4. Relación existente entre el punto de rocío, el exceso de aire y la temperatura para gas endotérmico propano.

diendo las cantidades de bióxido de carbono o conociendo el punto de rocío de la mezcla carburizante.

Procesos de cementación realizados en condiciones fuera del equilibrio

Los diagramas de equilibrio que se han presentado en las Figuras 3 a 7 deben utilizarse con precaución ya que en condiciones reales pueden llevar a resultados falsos, esto se debe a que el contenido de carbono que se desea obtener en la superficie de una pieza depende del espesor de la capa cementada. Así por ejemplo (Figura 8), si se desea cementar la superficie de una pieza de acero hasta una profundidad de 0.4 milímetros para obtener 0.8% de carbono a 925°C, se necesita que el acero permanezca dentro del horno una hora en una atmósfera carburizante que tenga 0.17% de bióxido de carbono. Bajo las mismas condiciones, la misma pieza necesitará de 20 horas para garantizar 0.8% de carbono en la superficie y una profundidad de 1.5 milímetros.

Si se utiliza la Figura 7 para conocer el porcentaje de bióxido de carbono que debe tener la atmósfera cementada para ga-

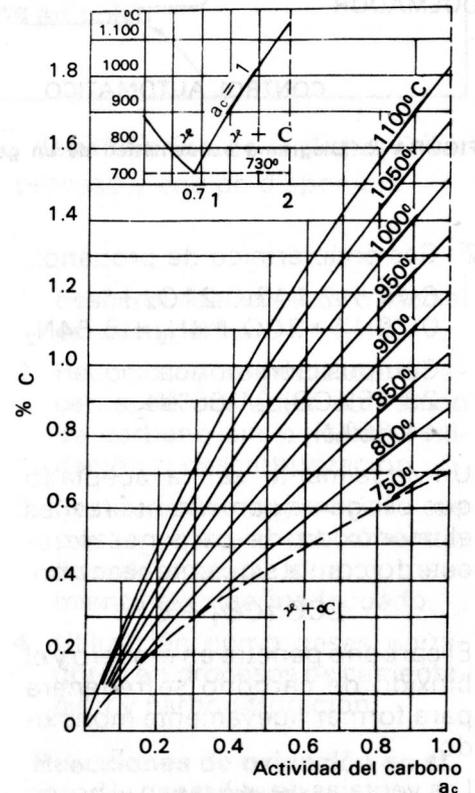


FIGURA 5. Correspondencia entre la actividad del carbono y el potencial de carbono a diferentes temperaturas.

rantizar 0.8% de carbono en la superficie, nos dará un valor de 0.25%, esto es cierto si la profundidad de la capa es superior a 1.6 milímetros (0.062 pulgadas) y tan solo se obtendría después de 20 horas (Figura 8). Con esta atmós-

fera se lograría tener al cabo de una hora de cementación solamente 0.65% de carbón superficial para un espesor de 0.4 milímetros (0.0158 pulgadas).

El análisis anterior muestra claramente que en la mayoría de los casos reales se trabaja en condiciones de desequilibrio (espesores inferiores a 1.6 milímetros y tiempos de cementación menores de 20 horas a 925°C), por lo cual es importante tener en cuenta estas alteraciones para evitar sorpresas en los resultados finales.

FIGURA 6. Relación directa entre el potencial de carbono y el punto de rocío para gas endotérmico de propano para diferentes temperaturas del horno.

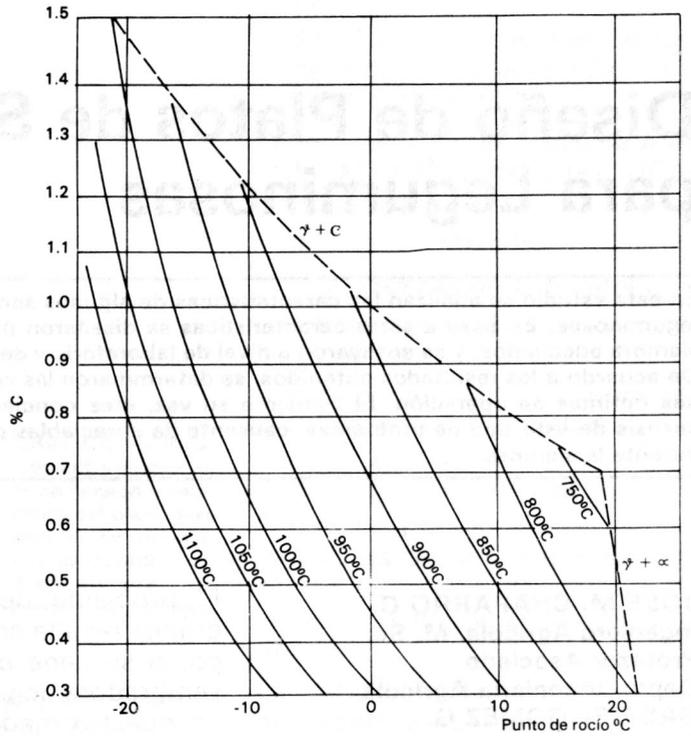


FIGURA 7. Relación directa entre el porcentaje de CO₂ y el potencial de carbono para gas endotérmico de propano para diferentes temperaturas del horno.

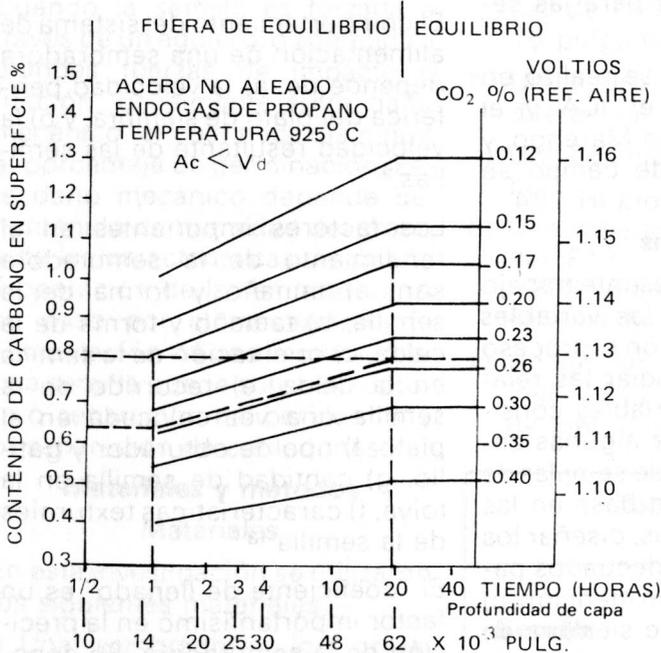
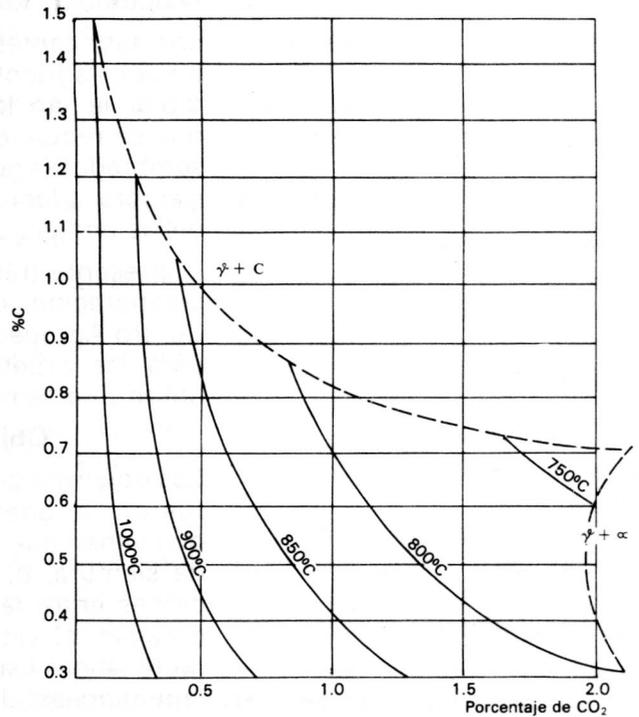


FIGURA 8.- Relación entre el contenido de CO₂, el porcentaje de carbono superficial y el tiempo de cementación o profundidad de capa para gas endotérmico de propano y acero no aleado a 925°C en estado de equilibrio y fuera de él. Cementación a un solo nivel (potencial de carbono constante durante todo el proceso).

BIBLIOGRAFIA

1. Trabajos de grado realizados dentro de la línea de investigación "Tratamientos Termoquímicos", que se desarrolla en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional bajo la dirección del autor del artículo.