



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

T E S I S

**CALCULO DE UN APARATO SIMULADOR DE
ATMOSFERAS PARA TRATAMIENTOS
TERMOQUIMICOS A NIVEL LABORATORIO**

Que para obtener el Título de:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P r e s e n t a:

Jorge Moises Vergara Rojas

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.



1988

EXAMENES DEGRADUACIONALES
FAC. DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

CAPITULO			PAG.
I		INTRODUCCION	6
II		GENERALIDADES Y CONSIDERACIONES TERMODINAMICAS.	
	2.1	INTRODUCCION	10
	2.2	PRINCIPALES GASES	10
	2.3	ASPECTOS TERMODINAMICOS	14
	2.4	CONTROL DE LA PRESION PARCIAL DE OXIGENO.	19
	2.5	DESCARBURICACION	26
	2.6	CARBURIZADO	32
	2.7	TRABAJO TERMODINAMICO	41
	2.8	CLASIFICACION DE LAS ATMOSFERAS	47
III		CALCULO DEL APARATO SIMULADOR	
	3.1	INTRODUCCION DEL CAPITULO	59
	3.2	CALCULO DEL TAMAÑO DEL HORNO	60
	3.3	CALCULO PARA EL FLUJO DE GAS	62
	3.4	CONTENIDO DE CARBON EN LA CAPA CARBURADA	64
	3.5	DISEÑO DEL MEZCLADOR	81
	3.5 Ia	CALCULO DEL DISPOSITIVO INYECTOR	83
	3.5 IIa	CALCULO DEL VOLUMEN CAMARA DE MEZ CLADO.	88
IV		DESARROLLO DEL APARATO	
	4.1	INTRODUCCION AL APARATO	92

	PAG.
4.2 DESCRIPCION E IMPORTANCIA DEL APARATO	92
4.3 ANALISIS POR PARTES DEL APARATO	93
4.4 CALCULOS DE UN APARATO SIMULADOR PARA 10 KG DE CARGA	95
4.5 FUNCIONAMIENTO DEL APARATO - SIMULADOR	98
4.6 OPERACION DEL APARATO	104
CONCLUSIONES	112
BIBLIOGRAFIA	114
APENDICE I	116

CON CARÍÑO PARA MIS HIJOS: LILIANA Y JORGE
Y A MI ESPOSA LILIA VIZUET DE V.

CON AGRADECIMIENTO A MIS PADRES, HERMANOS Y AMIGOS.

EN ESPECIAL A MI HERMANA: ROCIO

AGRADEZCO A:

PROFA. MARIA EUGENIA NOGUEZ.
DR. N. BIRKS
ING. J. R. REIDER
PROF. BERNARDO FABIAN CAMPILLO I.
ING. VICTOR CARDOSO M.

POR SU APRECIABLE COLABORACION EN EL PRESENTE TRABAJO

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

CAPITULO
I
INTRODUCCION

Uno de los procesos, que más importancia adquiere, por ser de los pasos finales en la Fabricación, es sin duda, el proceso del Tratamiento Térmico.

En este proceso, en el cual se utiliza el calor como medio para realizar un cambio, elevando la temperatura del material a tratar y variando ésta, en un determinado tiempo, logrando así una transformación en las fases presentes en el material, esto, en estado sólido, cambiando las proporciones de los microconstituyentes y el reacomodo de los defectos en la red cristalina.

En forma general, dentro de este proceso, se puede hablar de Tratamientos Térmicos, como el recocido, normalizado, temple, revenido, y tratamientos térmicos superficiales y otros como el tratamiento térmico con difusión y el tratamiento térmico de protección con difusión, los cuales están considerados como termoquímicos, ya que en estos últimos se efectúan cambios en la estructura y composición química en la superficie del metal.

Dentro de los Tratamientos Térmicos con difusión, podemos encontrar procesos como el carburizado, el nitrurado, el carbonitrurado y el nitrocarburado.

Uno de los objetivos primordiales al realizar un tratamiento térmico, es producir mejoras en las propiedades mecánicas de las piezas; logrando de esta forma utilizar materiales que den las especificaciones de ca lidad estandarizadas, con un menor costo de fabricación; y es aquí donde radica la importancia que tiene el usar los Tratamientos Térmicos en la Industria.

A partir de los años 70's., la industria, ha requerido una mayor cantidad de piezas con tratamiento térmico, debido a la tendencia de aumentar la producción, por lo que; ésta utiliza la mecanización y automatización como medio, para lograr mayor productividad.

Con respecto a los tratamientos térmicos, el desarrollo de nuevas técnicas, ha dado como resultado la fabricación de equipos y procesos, con los cuales se puede controlar la temperatura y el medio, logrando en esta forma aumentar la producción.

Anteriormente, las piezas ya terminadas sufrían severos daños en la superficie cuando se realizaba un tratamiento térmico, puesto que, las piezas eran calentadas en un medio que contenía aire, bióxido de carbono y vapor de agua, que debido a su composición química tienden a ser oxidantes, presentándose dos situaciones: Una, es la formación de capa de óxido (frente de oxidación) y la segunda, el cambio de la composición química en la superficie del metal, lo cual ocurre cuando hay elementos aleantes más afines al oxígeno que la base del metal, un ejemplo de esto, es la descarburización.

Para evitar esto, se han encontrado medios controlados, los cuales han sido clasificados como sólidos, líquidos y gaseosos y cabe señalar que en los últimos años se ha encontrado un proceso a base de plasma y que ya se encuentra en uso industrialmente en países desarrollados.

Ahora bien, al medio gaseoso, también se le conoce como atmósfera controlada; pero ¿qué es un Tratamiento Térmico con Atmósfera Controlada?

Los Tratamientos Térmicos con Atmósferas Controladas, son procesos en los cuales se mantienen las condiciones en la superficie del metal, durante el tratamiento respectivo.

Esta Atmósfera Controlada, puede tener principalmente dos propósitos:

- 1.- Proteger la superficie del metal en el tratamiento.
- 2.- Causar un cambio en la composición química de la superficie del metal.

Dependiendo del metal a tratar y del tipo de tratamiento térmico que se desee, se requiere de la utilización de una atmósfera en particular, la cual tiene una composición química específica.

Una de las principales aplicaciones de los tratamientos térmicos con atmósferas controladas, es en piezas que generalmente, se encuentran terminadas tal es el caso de piezas como birlos, espárragos, bujes, donde el diseño y forma imposibilitan remover la superficie dañada, esto, si se utiliza un tratamiento convencional en donde los daños principales se presentan por la formación de capa de óxido y la descarburización.

Otra aplicación de las atmósferas controladas, es en la elaboración de materia prima, tales como: solera, alambre y tubo de cobre, los cuales se manufacturan posteriormente a su forma final, esto resulta para el fabricante de materia prima una ventaja, ya que de no utilizar una atmósfera controlada, tendría problemas de formación de escama de óxido, la cual tendría que remover, para así ofrecer un material aceptable.

Por lo que el objetivo de este trabajo, es desarrollar un Proyecto para realizar Tratamientos Térmicos, con Atmósferas Controladas a Nivel Laboratorio, y el cual podría ser utilizado en Escuelas de Educación Superior, en Metalurgia y en la Industria para efectuar pruebas de control de Atmósferas o como Planta Piloto, para simular un proceso controlado.

Para esto, es necesario, conocer cómo y cuáles son los principios termodinámicos y cuáles son las reacciones. Que se presentan entre los materiales y los principales gases, así también como es posible calcular una atmósfera con fines protectores y cómo calcular una con el fin de producir un cambio en la composición química de la superficie del metal; conocer los diferentes tipos de atmósferas estandarizadas, en donde se utilizan, y los diferentes equipos que se encuentran industrialmente en uso, y teniendo como base esto, cómo se puede calcular y proyectar un simulador con su respectivo desarrollo.

Aunque los principios termodinámicos que rigen el proceso, son válidos --

tanto para los ferrosos y no ferrosos, en este trabajo se enfocará a los ferrosos , en especial a los aceros por ser los de mayor producción y demanda, los cuales también son grandes demandantes de tratamientos térmicos.

En especial se referirá al proceso de carburizado, por ser el de mayor demanda en hornos con atmósferas controladas, tomando como referencia el equipo endotérmico, el cual es usado para realizar este tipo de tratamiento.

CAPITULO

II

GENERALIDADES Y CONSIDERACIONES TERMODINAMICAS

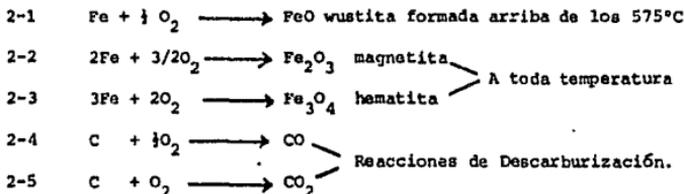
2.1 INTRODUCCION.

El conocer como trabajan las atmósferas controladas en los tratamientos térmicos, las reacciones que ocurren y los fenómenos que se presentan en la superficie del metal, así también como es posible calcular una atmósfera protectora y como una atmósfera para lograr un cambio en la superficie del metal a tratar, serán los puntos en que nos ocuparemos en este Capítulo.

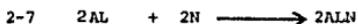
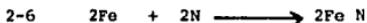
Antes de entrar al aspecto termodinámico, como una pequeña introducción es necesario tener presente, los efectos de los principales gases en presencia de un metal, refiriéndonos a los principales gases que comunmente encontramos dentro de un Horno de Tratamientos, en presencia de un acero cuya composición básica tomaremos de fierro y carbón.

2.2 PRINCIPALES GASES.

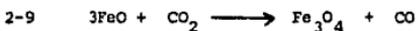
Óxígeno.- Este elemento, que abunda en nuestra atmósfera reacciona con casi todos los no ferrosos y los ferrosos, por ejemplo: Reacciona con el fierro para formar una serie de óxidos, los cuales se presentan en forma de capas y escamas las cuales resultan fácilmente separables de la superficie metálica, los óxidos que se forman son el óxido ferroso o wustita, el óxido férrico o magnetita y el óxido ferroso férrico o hematita y con el carbón del acero o fundición de hierro, se forma monóxido de carbono y bióxido de carbono de acuerdo a las siguientes reacciones:



Nitrógeno.- Este elemento, es considerado en su estado molecular como pasivo, siendo en esta forma utilizable para realizar recocidos de aceros de bajo carbón, y en una forma seca o sea que no contenga vapor de agua, se le utiliza para recoser aceros al alto carbón; en una forma atómica se le considera activo, teniendo una gran importancia en tratamientos, en los -- que se desea lograr un cambio en la composición química de la superficie -- como son el nitrurado y el carbonitrurado de acuerdo a las siguientes reac ciones:



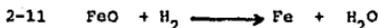
Bióxido de Carbono.- Este compuesto gaseoso en presencia del acero a la -- temperatura de austenitización, reaccionando con el fierro para producir -- óxido y con el carbón para formar monóxido de carbono de acuerdo a las si- guientes reacciones:



La última es la más activa, por lo que esta reacción pueda seguirse hasta que no haya bióxido de carbono en el sistema o la superficie del acero qua- de libre de carbón.

La reacción 2-8, presenta aspectos muy interesantes, como es la reversibi- lidad de la reacción y su carácter oxidante hacia un sentido y reductor ha- cia el sentido contrario, siendo esta reacción la base para calcular la -- atmósfera protectora de un recosido brillante, como se verá posteriormente.

Hidrógeno.- Este elemento en presencia del óxido de fierro, tiene una gran avidéz y acción reductora, reaccionando también con el carbón del acero dan- do un efecto descarburante de acuerdo a las siguientes reacciones:

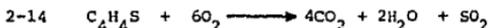


Hidrocarburos.- Son los más usuales, los cuales son adicionados en la atmósfera del horno y estos son: el metano, etano, propano y butano; los cuales imparten una atmósfera carburante, su actividad química sobre el acero a altas temperaturas dependerá de la descomposición térmica a formar CO, el cual tiene de a formar carbón naciente en la superficie del horno y la carga de trabajo.

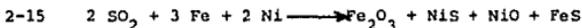
Gases Sulfurosos.- Resultan principalmente de la presencia de azufre en el combustible, se pueden encontrar compuestos químicos dentro del horno como vapores de ácido sulfídrico, bióxido de azufre, trióxido de azufre, mercaptanos y sulfuros metálicos; cuando el azufre está presente en una atmósfera reductora, la siguiente reacción es factible:



Cuando está presente en una atmósfera oxidante, la reacción puede ser:

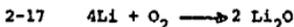
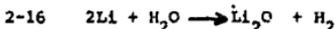


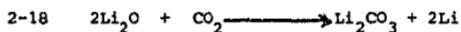
Cuando el azufre está presente en la atmósfera, sobre aceros que tienen altos contenidos de Níquel, se forma el Sulfuro de Níquel y el Oxido de Níquel de acuerdo a la siguiente reacción:



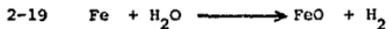
En general, la presencia de azufre en la atmósfera acelera la formación de capa de óxido e incrementándose este efecto a mayores temperaturas.

Vapor de Litio.- El vapor de litio, reacciona con el vapor de agua en la atmósfera del horno para formar óxido de litio e hidrógeno, el litio reacciona con cualquier cantidad de oxígeno presente en la atmósfera del horno, para formar óxido de litio, el cual en presencia del monóxido de carbono, reaccionará para formar carbonato de litio y litio, el cual puede reaccionar con más oxígeno de acuerdo a las reacciones:





Vapor de Agua.- Reacciona con el fierro para formar una gama de óxidos - y con el carbón del acero, para formar monóxido de carbono e hidrógeno de acuerdo a las siguientes reacciones: (1)

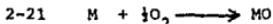


2.3 ASPECTO TERMODINAMICO.

Las atmósferas controladas persiguen dos fines fundamentales.

- 1.- Proteger la superficie del material a tratar.
- 2.- Provocar un cambio en la composición química de la superficie del material.

Con respecto al primero, cuando se piensa en proteger la superficie del metal, pensamos en controlar la formación de óxido en la misma, la cual se forma rápidamente cuando se expone al acero a altas temperaturas en una atmósfera oxidante, el siguiente modelo representa a la reacción de un metal con el oxígeno, y en donde se forma el óxido metálico correspondiente:



Donde M = Metal, O_2 representa al oxígeno y MO = al Óxido Metálico.

Como toda reacción química su variación de energía libre estándar es:

$$2-22 \quad \Delta G^\circ = -nRT \ln K$$

Siendo K la constante de equilibrio, en donde también representa al cociente de los estados estándar de los productos entre los reaccionantes.

$$2-23 \quad K = \frac{MO}{M(O_2)^{\frac{1}{2}}}$$

Ahora, si se despeja K de la ecuación 2-22, y se iguala con la ecuación 2-23, se tiene que:

$$2-22_a \quad \Delta G = -nRT \ln K$$

Multiplicando por -1 los dos miembros tenemos:

$$2-22_b \quad (-1) \Delta G^\circ = -nRT \ln K \quad (-1)$$

Despejando $\ln K$

$$2-22_c \quad \ln K = \frac{-\Delta G}{nRT}$$

Sacando Logaritmo:

$$2-22_d \quad K = \exp \frac{-\Delta G}{nRT}$$

Igualando K con la K de la ecuación 2-23

$$2-24 \quad K = \frac{MO}{M (O_2)^{\frac{1}{2}}} = \exp \frac{-\Delta G}{nRT}$$

Y puesto que para M y MO se considera su valor como 1, ésto debido a - que el valor de la actividad para un sólido puro, es muy cercano a la unidad; tenemos que:

$$2-24_a \quad \frac{1}{P (O_2)^{\frac{1}{2}}} = \exp \frac{-\Delta G}{nRT}$$

$$6 \quad P (O_2)^{\frac{1}{2}} = \exp \frac{-\Delta G}{nRT}$$

Elevado al cuadrado los dos miembros, se tiene:

$$2-24_b \quad P (O_2)^{\frac{1}{2} \cdot 2} = \exp \frac{-\Delta G}{nRT}$$

$$2-24_c \quad P (O_2)^{-1} = \exp \frac{-2\Delta G}{nRT}$$

Elevado ahora los dos miembros a la -1

$$2-25 \quad P (O_2) = \exp \frac{2\Delta G}{nRT}$$

Se puede observar que la reacción de oxidación está en función de la pre sión parcial del oxígeno para una temperatura dada, y cuando el valor de la presión parcial del oxígeno es mayor a la del $\exp \frac{+2\Delta G}{nRT}$, se presenta la oxidación, de esto se concluye que a los valores bajos de temperatura se tendrán valores bajos de la presión parcial de oxígeno, y así por - - ejemplo; si se calcula una atmósfera para que sea protectora y que se -- mantenga en equilibrio a una temperatura, en el proceso de enfriamiento ocasionará una cierta oxidación. En el caso de aleaciones no ferrosas - y ferrosas, la condición crítica se presenta con el constituyente más ac tivo, el cual tendrá a oxidarse afectando la composición en la superfi-- cie; por lo que la actividad de los aleantes, deberá ser conocida, de la ecuación 2-24, se tiene que:

$$2-26 \quad \frac{Q_{MO}}{Q_M \cdot P(O_2)}^{\frac{1}{2}} = \text{EXP} \frac{\Delta G}{nRT}$$

Despejando la presión parcial de oxígeno realizando los siguientes pasos, tenemos:

$$2-26_a \quad \frac{Q_{MO}}{Q_M} = \text{EXP} \frac{\Delta G}{nRT} \quad P(O_2)^{\frac{1}{2}}$$

Elevando al cuadrado:

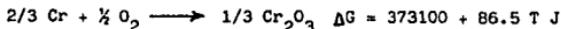
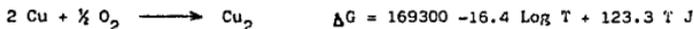
$$2-26_b \quad \frac{Q_{MO}^2}{Q_M^2 \text{EXP} \frac{2 \Delta G}{nRT}} = P(O_2)$$

6

$$P(O_2) = \text{EXP} \frac{-2 \Delta G}{nRT} \frac{Q_{MO}^2}{Q_M^2}$$

Como se observa el control de la reacción de oxidación aparte de la presión parcial de oxígeno, también está en función de las actividades del óxido y del metal, y éste es real, ya que casi nunca se trabaja en el equilibrio.

A continuación, la Tabla 2-1(14) muestra valores aproximados de la presión parcial de oxígeno, característicos para el cobre, níquel, hierro y como a partir de sus óxidos, tomando diferentes valores de la actividad para formar la Tabla en donde se han utilizado los siguientes datos termodinámicos.

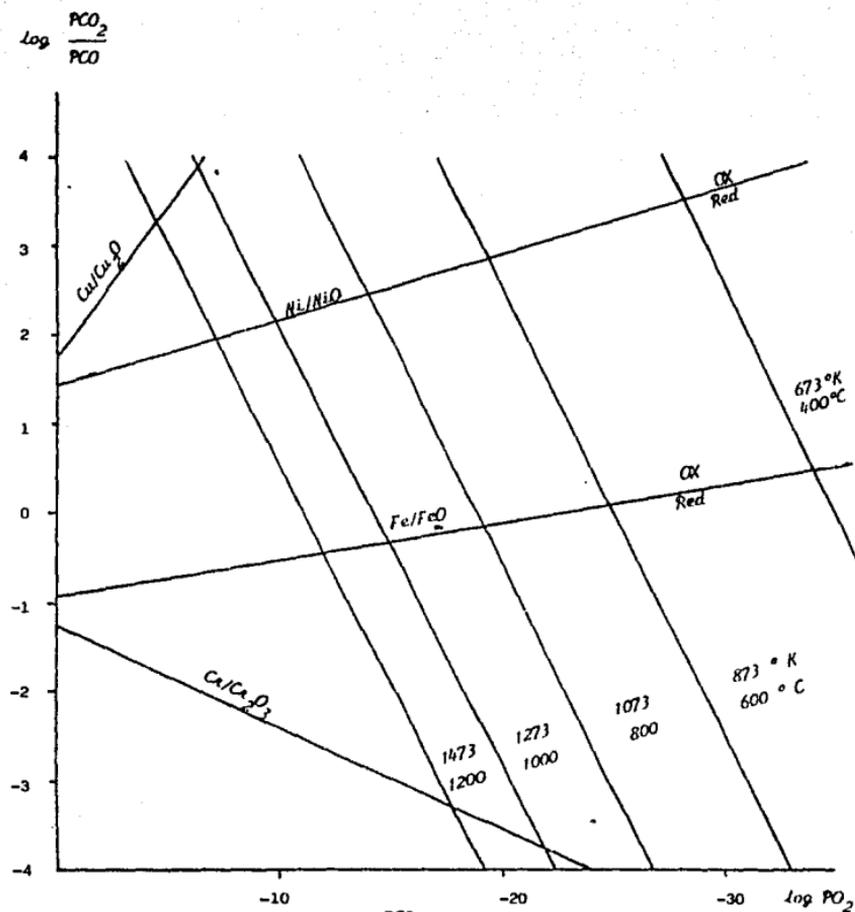


PO₂ (ATMOSFERAS)

METAL	ACTIVIDAD	TEMPERATURA ° C					
		400	600	800	1000	1200	
Cu	1	4.8×10^{-19}	3.4×10^{-13}	1.4×10^{-9}	4.4×10^{-7}	LIQUIDO	
	0.5	1.6×10^{-18}	5.6×10^{-12}	2.2×10^{-8}	7.0×10^{-6}	LIQUIDO	
Ni	1	1.7×10^{-28}	9.1×10^{-20}	2.7×10^{-14}	1.5×10^{-10}	8.4×10^{-8}	
	0.5	6.8×10^{-28}	3.6×10^{-19}	1.1×10^{-13}	6.2×10^{-10}	3.4×10^{-7}	
Fe	1	1.3×10^{-34}	2.4×10^{-25}	1.5×10^{-19}	1.5×10^{-15}	1.2×10^{-12}	
	0.5	5.2×10^{-34}	1.8×10^{-24}	6×10^{-19}	6.0×10^{-15}	4.8×10^{-12}	
	0.1	1.3×10^{-32}	2.4×10^{-23}	1.5×10^{-17}	1.5×10^{-13}	1.2×10^{-10}	
Cr	1	7.9×10^{-50}	1.7×10^{-36}	3.8×10^{-28}	2.1×10^{-22}	3.1×10^{-18}	
	0.1	3.7×10^{-49}	7.9×10^{-36}	1.8×10^{-27}	9.7×10^{-22}	1.4×10^{-17}	
	0.01	1.7×10^{-48}	3.7×10^{-35}	8.2×10^{-27}	4.5×10^{-21}	6.7×10^{-17}	

VALORES APROXIMADOS DE LA PRESIÓN PARCIAL DE OXÍGENO EN EQUILIBRIO CON EL OXIDO CORRESPONDIENTE PARA CU, NI, FE, Y CR A DIFERENTES TEMPERATURAS Y VALORES DE ACTIVIDAD DEL METAL (14)

T A B L A 2-1



GRAFICA DE LOS VALORES DE PO_2 VS $\frac{PCO_2}{PCO}$ EN FORMA LOGARITMICA A DIFERENTES TEMPERATURAS PARA LAS LINEAS DE EQUILIBRIO DEL Cu, Ni, Fe, y Cr (14)

Fig. 2-1

2.4 CONTROL DE LA PRESION PARCIAL DE OXIGENO.

Como se observó anteriormente, el control de la formación del óxido, está en función de la presión parcial del oxígeno, o sea; que entre menor sea la presión parcial de oxígeno en el sistema, menor es la posibilidad de que se oxide nuestro metal. Pero para cada metal, la presión parcial en equilibrio, estará en función de su ΔG de formación y también de la temperatura en que se esté trabajando, por lo que, cuando se trate de una aleación, es necesario tomar en cuenta a todos los constituyentes para saber cuales son los activos. Un ejemplo, sería el acero inoxidable, donde sus constituyentes principales son el fierro, níquel, cromo y carbón; de aquí deducimos que el cromo es el más activo al oxígeno a la temperatura de --tratamiento térmico; por lo que será el elemento crítico para controlar la oxidación, calculando la presión parcial de oxígeno permisible en equilibrio.

Quizá una de las primeras formas que se nos ocurra para controlar la presión parcial de oxígeno, sea el utilizar el vacío, en donde la presión parcial de oxígeno puede ser reducida a valores de 10^{-10} , a 10^{-11} , atmósferas de estos valores comparados con los de la Tabla No. 2-1 (14), la cual ha sido desarrollada para diferentes metales a diferentes temperaturas a distintos valores de la actividad. Se observa que para el cobre a 800°C y con valor de la actividad de 1, resulta ser protector y así también para un valor de actividad de 0.5, puesto que el valor requerido es mayor al de la actividad de 1 y así para que el níquel a 1000°C y para el fierro a 1200°C , también resulta ser protector, sólo si tenemos un valor de la actividad de 0.1 o para el cromo a cualquier temperatura ya no resulta protector.

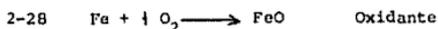
Otro problema que se presenta, utilizando el vacío a altas temperaturas es la pérdida de metales volátiles en la superficie de la aleación, por ejemplo, el manganeso o el zinc de un latón.

Debido a ésto, no obstante, de utilizar las más modernas técnicas de vacío en aire, y que sólo se ha utilizado para realizar recocidos brillantes pa-

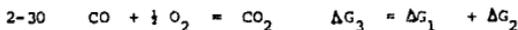
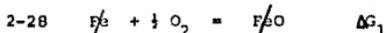
ra el cobre; para otro tipo de metales, se ha restringido su uso a pequeñas cámaras de laboratorio.

Uso de Gases Inertes.- En sí, se utiliza principalmente el Argón, pero existe la dificultad de mantener la presión parcial de oxígeno abajo de 10^{-6} atmósferas, por lo cual, no sería de gran ayuda. Utilizándolo en esta forma, el costo viene a restringir más su uso, por lo que se prefiere utilizarlo sólo en laboratorio.

Uso de Una Atmósfera (Redox).- Esta está compuesta por dos o más gases, unos con características reductoras y otros con características oxidantes las cuales deberán ser controladas para mantener el equilibrio con el oxígeno de acuerdo a las siguientes reacciones y en esta forma poder reducir la presión parcial de oxígeno.



Sumando las dos ecuaciones químicas:



$$2-31 \quad \text{a} \quad \text{Siendo } K = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}} P_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}}} = \mathcal{Q} \text{XP} \quad \frac{-\Delta G_3}{nRT}$$

Despejando la presión parcial O_2 , de la ecuación anterior:

$$2-31 \quad \text{b} \quad \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}}} = \mathcal{Q} \text{XP} \quad \frac{-\Delta G_3}{nRT} \quad P_{\text{CO}}$$

$$2-31 \quad \text{c} \quad P_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\mathcal{Q} \text{XP} \frac{-\Delta G_3}{nRT}} \cdot \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}}$$

Que elevado al cuadrado, se tiene:

$$2-32_d \quad P_{O_2} = \alpha \exp \frac{2 \Delta G_3}{nRT} \left| \frac{PCO_2}{PCO} \right|^2$$

$$2-33 \quad \frac{PCO_2}{PCO} = P_{O_2}^{1/2} \exp \frac{\Delta G_3}{nRT}$$

De esta ecuación, se puede observar que contiene tres variables; que para una temperatura dada, se puede definir el valor de la presión parcial de oxígeno, utilizando la ecuación 2-25, y el resultado se puede sustituir en la ecuación 2-33, resolviendo esta para la temperatura dada; da un valor de la relación $\frac{PCO_2}{PCO}$, en el cual estará evitando la oxidación.

La figura 2-1 (14), es una gráfica que da valores de la presión parcial de oxígeno, contra la relación $\frac{PCO_2}{PCO}$ en forma logarítmica, para diferentes metales y su óxido en equilibrio a diferentes temperaturas se grafica para el cobre, níquel, hierro y cromo.

De esta gráfica, se puede observar que para un valor de la relación $\frac{PCO_2}{PCO}$ mayor al del equilibrio, sobreviene la oxidación y para un valor más bajo hay una reducción.

Por ejemplo: Si se quiere realizar un recocido brillante a un acero - 1020 a 900°C (1073°K) de la figura, se busca la línea de temperatura a la que se va a trabajar y se localiza el cruce de las líneas un punto con la línea de equilibrio fierro/óxido de fierro, llevando el punto a los ejes, se localiza el valor de la presión parcial de oxígeno de 10^{-19} y un valor para la relación de $\frac{PCO_2}{PCO}$ de $10^{-0/05} = 0.891$, ahora si se considera que la atmósfera sólo está compuesta por CO y CO₂ y se trabaja a la presión de una atmósfera, de acuerdo a la Ley de Dalton, donde la suma de las presiones parciales es igual a la presión total del sistema, y no se considera el valor de la presión parcial -- del oxígeno por ser muy pequeño, se tiene que:

$$2-34 \quad PCO_2 + PCO + P_{O_2} = 1 \text{ atmósfera}$$

$$2-35 \quad \frac{PCO_2}{PCO} = 0.891$$

Resolviendo estas dos ecuaciones por substitución, se tiene:

$$PCO_2 = 0.891 \quad PCO$$

$$PCO + 0.891 \quad PCO = 1$$

$$1.891 \quad PCO = 1$$

$$PCO = \frac{1}{1.891} = 0.51$$

y

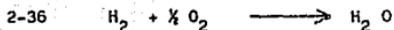
$$PCO_2 = 1.0.52 = 0.48$$

Por lo que la atmósfera deberá de estar constituida de 52% de monóxido de carbono y un 48% de bióxido de carbono.

La cual viene a ser fácilmente producida si se utiliza mezcla de gases o se puede generar en una combustión parcial, utilizando un generador en el cual se introduzca un hidrocarburo y oxígeno a alta temperatura con catalizador.

• • •

Otro sistema que se puede encontrar es el basado en hidrógeno-agua - - H₂-H₂O, de acuerdo a la reacción; Redox:



$$\Delta G = -247000 + 55 T \text{ J}$$

de donde:

$$2-36_a \quad \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{H}_2}} = P_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}} \text{ EXP } \frac{-\Delta G}{nRT}$$

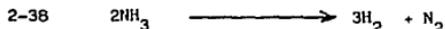
$$2-37 \quad \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{H}_2}} = P_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}} \text{ EXP } \left(\frac{29708}{T} - 6.61 \right)$$

Las atmósferas protectoras basadas en este tipo de relaciones $\frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{H}_2}$ son poco usadas, fuera del laboratorio.

Una de las dificultades es mantener el agua en forma gaseosa a temperatura ambiente de la Figura No. (2-2), se observa que para el Níquel y el Hierro son protectoras conteniendo sólo un 10% de vapor de agua para cualquier temperatura, el sistema es más adecuado para proteger el cromo y sus aleaciones como el acero inoxidable en donde el contenido de agua puede ser hasta 1000 PPM o menos dependiendo de la temperatura, la ventaja de este sistema es que el vapor de agua puede ser controlado enfriando el gas para condensar el agua o inyectando vapor al sistema y puede ser medida la cantidad de agua, utilizando un aparato de punto de rocío.

Por otra parte también es posible utilizar este tipo de gas Redox, diluyendo con gas inerte tal como el nitrógeno.

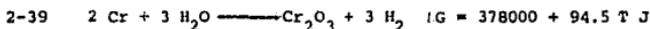
Para lo cual es posible utilizar el amoníaco, el cual puede ser descompuesto de acuerdo a la ecuación: 2-38, e incorporarlo al Gas Redox $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2$



Esta reacción es completa a 800° C, utilizando un catalizador.

Por ejemplo, si queremos realizar un recocido brillante a un acero inoxidable, el cual contiene 20% Cr, 10% de Ni y 0.05% C a 1000 °C, utilizando a una atmósfera con amoníaco disociado en donde el máximo punto de ro

cfo tolerado se calcula como sigue:



De esta manera, tenemos que:

$$2-39_a \quad \frac{a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}}{a_{\text{Cr}}^2} \frac{\text{PH}_2^3}{\text{PH}_2\text{O}} = \Delta \text{XP} \frac{378000 - 94.5 \text{ T J}}{\text{RT}}$$

$$= 4.31 \times 10^{-10} \quad 1000^\circ \text{ C}$$

$$2-39_b \quad \frac{\text{PH}_2^3}{\text{PH}_2\text{O}} = a_{\text{Cr}}^2 \cdot 4.31 \times 10^{-10}$$

Sacando Raíz Cúbica

$$2-39_c \quad \frac{\text{PH}_2}{\text{PH}_2\text{O}} = a_{\text{Cr}}^{2/3} \cdot 43.1 \times 10^{9/3}$$

$$2-39_d \quad \frac{\text{PH}_2}{\text{PH}_2\text{O}} = a_{\text{Cr}}^{2/3} \cdot 3.51 \times 10^3$$

En esta aleación el coeficiente de actividad del cromo es cercano a 2 también la fracción mol del cromo correspondiente al 20% en hierro es: $x_{\text{Cr}} = 0.19$, -- así: $a_{\text{Cr}} = 0.38$

y la relación de $\text{PH}_2/\text{PH}_2\text{O}$, queda como:

$$2-39_e \quad \frac{\text{PH}_2}{\text{PH}_2\text{O}} = 0.38^{2/3} \times 3.51 \times 10^3 = 1.84 \times 10^3$$

De la ecuación 2-38, deducimos que al descomponerse el amoniaco en sus elementos tenemos, 3 partes de hidrógeno y 1 parte de nitrógeno, lo que nos daría - una atmósfera formada por 75% de hidrógeno y 25% de hidrógeno.

$$2-39_f \quad \text{PH}_2\text{O} = \frac{0.75}{1.84 \times 10^3}^3 = 4.08 \times 10^{-4} \text{ Atm.}$$

Usando la ecuación de Clausius Clapeyron:

$$2-40 \quad 2.303 \frac{\log P}{1/t} = \frac{L}{R}$$

Donde L es el calor latente de evaporización (41000 J/Mol) agua.

$$2-40 \quad \log \frac{P_1}{P_2} = \frac{-L}{2.303 R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Siendo:

$$P_2 = 1, T_2 = 373.15 \text{ }^\circ\text{K} \text{ (} 100 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Tenemos:

$$\log P_1 = \frac{-41000}{2.303 R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{373} \right)$$

Sustituyendo el valor de P_1 por 4.08×10^{-4} para obtener la temperatura que requerimos:

$$\log (4.08 \times 10^{-4}) = -3.389 = -2135 \left(\frac{1}{T} - 0.00268 \right)$$

Tenemos:

$$1/T = 0.00268 + 0.00158 = 0.00426$$

$$T = \frac{1}{0.00426} = 234.74 \text{ }^\circ\text{K} \text{ (} -38.25 \text{ }^\circ\text{C)}$$

El punto de rocío de la atmósfera, no deberá ser excedido de -38.25°C , para que resulte un proceso de recocido brillante, pero tenemos una complicación ya que este tipo de atmósferas, debido al hidrógeno naciente tiende a des--carburizar, por lo que hay que utilizarlas sólo el tiempo estrictamente necesario. En el ejemplo anterior, como se utiliza un acero inoxidable en -- donde el contenido de carbón es bajo, resulta ser una ventaja.

2.5 DESCARBURIZACION.

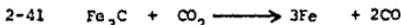
Siendo el carbón, uno de los constituyentes principales del acero, se ha observado, que al calentar éste a altas temperaturas en una atmósfera oxidante, aparte de que se forma una capa de óxido de hierro, se forma una zona metálica baja en carbón, la explicación que se le ha dado a este fenómeno, es que el carbón de la austenita empieza a difundirse hacia la superficie del metal, debido al mecanismo de equilibrio de concentraciones, explicada por la primera ecuación de difusión de Fick, por lo que, llegando a la superficie, este carbón reacciona con el oxígeno, comburiéndose de acuerdo a la siguiente reacción:



Por otra parte, como anteriormente se ha explicado la manera de poder controlar la oxidación en la superficie, utilizando diferentes medios, cuando se trata de acero, hay que tomar en cuenta al carbón principalmente y cuando sea el caso, considerar a los elementos aleantes más activos.

En el ejemplo anterior, en donde se utilizó un sistema $CO_2 - CO$ para evitar la formación de óxido controlado la presión parcial, llegamos a la conclusión de que requeríamos de una atmósfera constituida por 52% CO y 48% CO_2 , para así poder evitar la oxidación del hierro, logrando un recocido brillante; por lo que, ahora se nos genera una pregunta ¿Habrá descarburiación?

En este caso, la descarburiación se puede presentar de acuerdo a la reacción:



Donde:

$$2-42 \quad K = \frac{a_{Fe}^3 \cdot P_{CO}^2}{a_{C(Fe_3C)} \cdot P_{CO_2}}$$

Y

$$2-43 \quad \Delta G = -nRT \ln K$$

Quedando, si se igualan las K

$$2-44 \quad \frac{PCO^2}{PCO_2} = \exp \frac{-\Delta G}{nRT} \quad Q_C$$

$$2-44_a \quad Q_C = \exp \frac{\Delta G}{nRT} \quad \frac{PCO^2}{PCO_2}$$

Se observa que a partir de la última ecuación dos situaciones muy interesantes, la primera que la reacción está en función de la relación $\frac{PCO}{PCO_2}$ y la temperatura; por lo que puede ser controlada modificando los porcentajes de CO y CO₂, la Figura No. 2-3 (14), es una Gráfica de esta relación con respecto a la temperatura para diferentes actividades de carbón, por otra parte la segunda situación, es que esta reacción puede ser reversible, o sea, que podemos carburar la superficie del acero de acuerdo a su actividad de carbón.

Esta actividad de carbón, se puede encontrar de acuerdo al porcentaje en peso del carbón o utilizando la fracción atómica del carbón de la siguiente manera:

$$2-45 \quad Q_C = f_c \quad \%w C \quad \delta$$

Donde %wC es % en peso del carbón y f_c es el coeficiente de actividad de carbón

$$2-46 \quad Q_C = f_c X_c$$

Donde X_c es la fracción atómica de carbón y f_c es el coeficiente de actividad de carbón.

Si se combinan las ecuaciones: 2-44_a y 2-45, tenemos:

$$2-47 \quad \%w C = \frac{\exp \frac{\Delta G}{nRT}}{f_c} \frac{PCO^2}{PCO_2} = \frac{1}{f_c K} \frac{PCO^2}{PCO_2}$$

Otra ecuación, la cual ha sido propuesta por Ellis Davison y Bodsworth (14) la cual sirve para calcular la actividad del carbón a partir de la fracción atómica y la temperatura, para aceros al carbono.

$$2-48 \quad \log Q_C = \log \frac{X_c}{1-5 X_c} + \frac{2080}{T} - 0.64 \quad T = ^\circ K$$

Volviendo a la pregunta ¿Existirá descarburización?. En el ejemplo anterior, se ha visto que para poder mantener la superficie del acero sin oxidación fue necesario utilizar una atmósfera compuesta por 52% CO y 48% CO₂ el

acero que se utiliza es un 1020, a una temperatura de 800° C.

Para poder responder a dicha pregunta, se utiliza la ecuación 2-48, en la cual se necesita conocer la fracción atómica del carbón y la temperatura en (°K), resolviendo tenemos:

$$2-48 \quad \log a_C = \log \frac{XC}{1-5XC} + \frac{2080}{T} - 0.64$$

Donde:

$$T = 800^\circ\text{C} = 1073^\circ\text{K} \quad \text{y} \quad XC = \frac{0.002}{12} = 0.00016$$

Sustituyendo tenemos:

$$\log a_C = \log \frac{0.00016}{1-5(0.00016)} + \frac{2080}{1073} - 0.64$$

$$= \log 0.00016 + 1.03 - 0.64$$

$$= \log -3.79 + 1.93 - 0.64$$

$$\log a_C = 2.50$$

Sacando antilogaritmo:

$$a_C = 0.0031$$

Utilizando la Figura: 2-3 (14), vemos que para un valor de $\log a_C = -2.50$ y la intersección, con la línea Fe/FeO nos da un valor de la relación $\frac{\text{PCO}_2}{\text{PCO}}$ en forma logarítmica de -0.42

$$I \quad \frac{\text{PCO}_2}{\text{PCO}} = -0.42$$

Sacando antilogaritmo

$$Ia \quad \frac{\text{PCO}_2}{\text{PCO}} = 0.38$$

y siendo nuestro sistema:

$$II \quad \text{PCO} + \text{PCO}_2 = 1 \text{ Atm.}$$

Si se despeja PCO_2 de la ecuación Ia y la sustituimos en la ecuación del sistema tenemos:

$$Ib \quad \text{PCO}_2 = 0.38 \text{ PCO}$$

y sustituimos: Ib en II, tenemos:

$$\text{III} \quad \text{PCO}_2 + 0.38 \text{ PCO} = 1$$

Resolviendo:

$$1.38 \text{ PCO} = 1$$

$$\text{PCO} = \frac{1}{1.38} = 0.72$$

Por lo que:

$$\text{IV} \quad \text{PCO}_2 = 1 - 0.72 = 0.28$$

Y con esto, obtenemos el volumen en por ciento:

$$0.72 \times 100 = 72\% \text{ CO}$$

$$0.28 \times 100 = 28\% \text{ CO}_2$$

Por lo que se ve, que la atmósfera, necesitada para que no haya descarburización, es muy diferente a la calculada para evitar la formación de óxido en la superficie, en donde tenemos mayor cantidad de CO_2 por lo cual actúa como agente descarburante.

También, se puede resolver nuestro problema, utilizando la gráfica 2-4 (3) en donde para una temperatura de 800°C , y un potencial de carbón de 0.2% - la relación $\frac{P_{\text{CO}}^2}{\text{PCO}_2} = 2.6 \text{ Atm.}$, siendo el sistema:

$$\text{PCO} + \text{PCO}_2 = 1$$

Tenemos que:

$$\frac{\text{PCO}^2}{\text{PCO}_2} = 2.6$$

Despejando PCO_2 , tenemos:

$$\text{PCO}_2 = \frac{1}{2.6} \text{ PCO}^2$$

Sustituyendo en la ecuación del sistema:

$$\text{PCO}_2 = \frac{1}{2.6} \text{ PCO}^2 = 1$$

6

$$\frac{1}{2.6} \text{ PCO}^2 + \text{PCO} - 1 = 0$$

Resolviendo esta ecuación de 2do. grado con una incógnita, utilizando la fórmula:

$$2-49 \quad X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4(ac)}}{2a}$$

$$X_1 = \frac{-1 + \sqrt{1^2 - 4 \left(\frac{1}{2.6}\right)(-1)}}{2 \left(\frac{1}{2.6}\right)} = \begin{matrix} X_1 = 0.772 \\ X_2 = 3.376 \end{matrix}$$

Tomando el primer valor de X_1 y multiplicándolo por 100, tenemos que:

$$CO = 77.2 \%$$

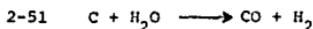
Siendo, por lo tanto el valor de:

$$CO_2 = 100 - 77.2 \%$$

$$= 22.8 \%$$

El cual es muy parecido al obtenido, utilizando la ecuación 2-50 y la Figura 2-3

Por otra parte, cuando se utiliza un sistema Redox $H_2O - H_2$, también puede aparecer la descarburización, reaccionando el carbón con el hidrógeno y el vapor de agua de acuerdo a las siguientes reacciones:



Siendo K para la primera reacción:

$$2-50 \text{ a } K = \frac{P_{CH_4}}{a_C P_{H_2}^2}$$

Despejando a_C , tenemos que:

$$2-50 \text{ b } a_C = K^{-1} \frac{P_{CH_4}}{P_{H_2}^2}$$

Como se observa la pérdida del carbón, esta en función de la relación $\frac{P_{CH_4}}{P_{H_2}^2}$

y la temperatura, hasta llegar al equilibrio, por lo que, como se dijo anteriormente, este tipo de atmósferas basadas en $H_2O - H_2$, son más propias para adiciones en donde la descarburización puede ser tolerada o en donde los -

contenidos de carbón son bajos por ejemplo, los aceros inoxidables.

Para la segunda reacción:

$$2-51a \quad K = \frac{P_{CO} P_{H_2}}{a_C P_{H_2O}}$$

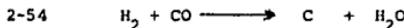
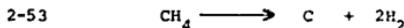
Despejando a_C

$$2-51b \quad a_C = K^{-1} \frac{P_{CO} P_{H_2}}{P_{H_2O}}$$

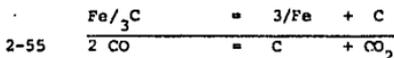
En este caso, la actividad de carbón, está en función de $\frac{P_{CO} P_{H_2}}{P_{H_2O}}$ razonando que a menor contenido de agua, menor es la posibilidad de que se presente - la descarburización.

2.6 CARBURIZADO

El carburizado, se presenta como un fenómeno inverso al descarburizado, que ya antes hemos explicado, el mecanismo sigue siendo la difusión, pero ahora el gas deberá de tener el potencial de formar carbón naciente, en la superficie del metal, a manera que a partir de ésta empiece a difundir al interior del acero, activado por la diferencia en concentraciones de carbón y - la temperatura, anteriormente hemos explicado algunas reacciones, las cuales tienden a formar carbón naciente; las cuales son:



De la primera reacción, para una mejor comprensión la podemos sumar con la reacción de formación de cementita, quedándonos:



Siendo:

$$2-55a \quad K = \frac{a_{\text{C}} \cdot a_{\text{CO}_2}}{a_{\text{CO}}^2}$$

Despejando a la actividad de carbón C:

$$2-55b \quad a_{\text{C}} = K \frac{a_{\text{CO}}^2}{a_{\text{CO}_2}}$$

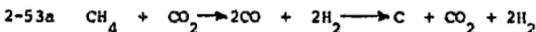
Como se puede ver la actividad de carbón está en función de la relación

$\frac{a_{\text{CO}}^2}{a_{\text{CO}_2}}$ y la temperatura.

De la segunda reacción, tenemos que:



Aunque esta reacción no se lleva a cabo, en esta forma la podemos considerar como tal, ya que en realidad se lleva a cabo como sigue:



Como se puede ver la misma cantidad de CO_2 consumida por la reacción es producida por la misma, por lo que no altera la proporción en CO_2

Por lo que para nuestra reacción tenemos:

$$2-53 \text{ b } K = \frac{a_C \cdot \text{PH}_2^2}{\text{PCH}_4}$$

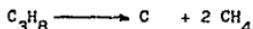
Despejando a_C :

$$2-53 \text{ c } a_C = K \frac{\text{PCH}_4}{\text{PH}_2^2}$$

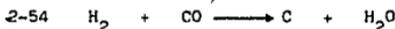
De donde se concluye que, la formación de carbón naciente está controlada a partir de la relación $\frac{\text{PCH}_4}{\text{PH}_2^2}$ y la temperatura, y si se adiciona un hidro-

carburo a la atmósfera, esto, provocaría un aumento en el potencial de formación de carbón, la Fig. 2-5 (3), es una gráfica entre la relación $\frac{\text{PH}_2^2}{\text{PCH}_4}$ y la temperatura a diferentes porcentajes de potencial de -- carbón.

Reacción de descomposición del propano:



La Tercera reacción, se lleva a cabo, utilizando un catalizador, el cual puede ser Fe a alta temperatura.



Siendo:

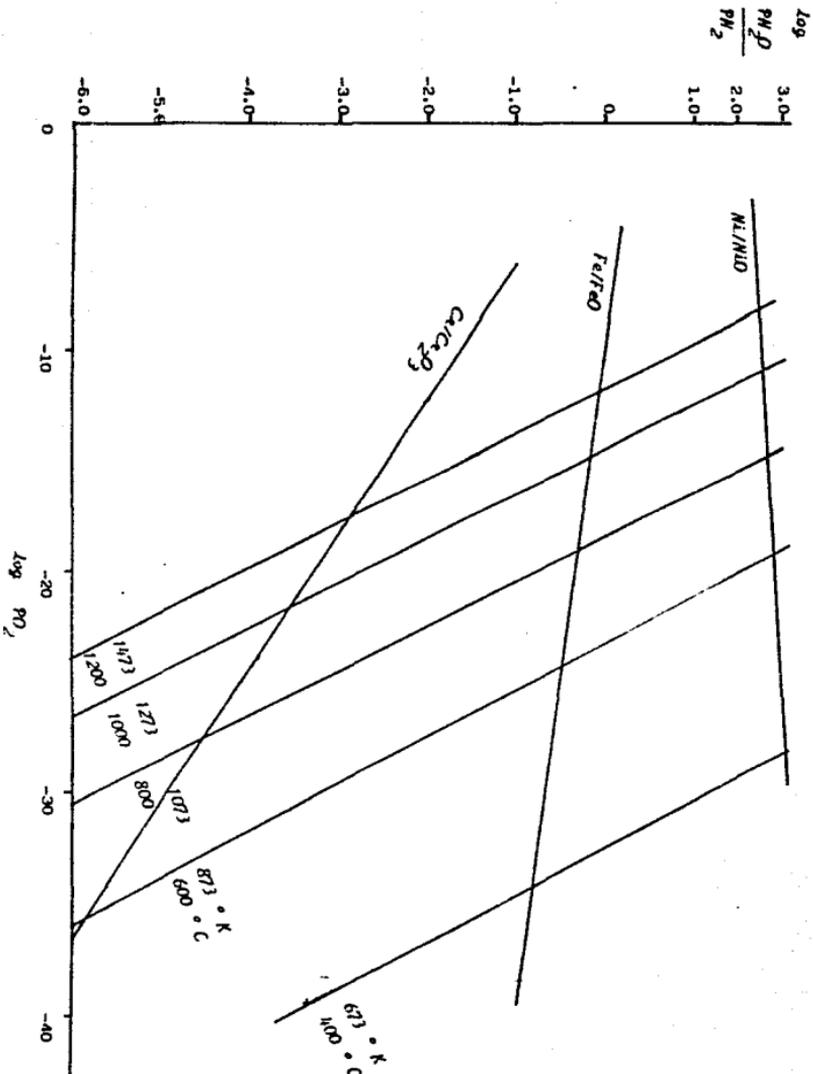
$$2-54 \text{ a } K = \frac{a_C \cdot \text{PH}_2\text{O}}{\text{PH}_2 \cdot \text{PCO}}$$

Despejando a la actividad de carbón:

$$2-54 \text{ b } a_C = K \frac{\text{PH}_2 \cdot \text{PCO}}{\text{PH}_2\text{O}}$$

La Fig. 2-6 (3), es una gráfica entre la relación $\frac{\text{PCO} \cdot \text{PH}_2}{\text{PH}_2\text{O}}$ en forma -

logarítmica contra la temperatura para diferentes potenciales de carbón.



GRAFICA DE LOS VALORES DE P_{O_2} VS $\frac{P_{H_2O}}{P_{H_2}}$ EN FORMA LOGARITMICA A DIFERENTES TEMPERATURAS.
 PARA LAS LINEAS DE EQUILIBRIO DE Cu, Ni, Fe y Cr (14).

Fig. 2-2

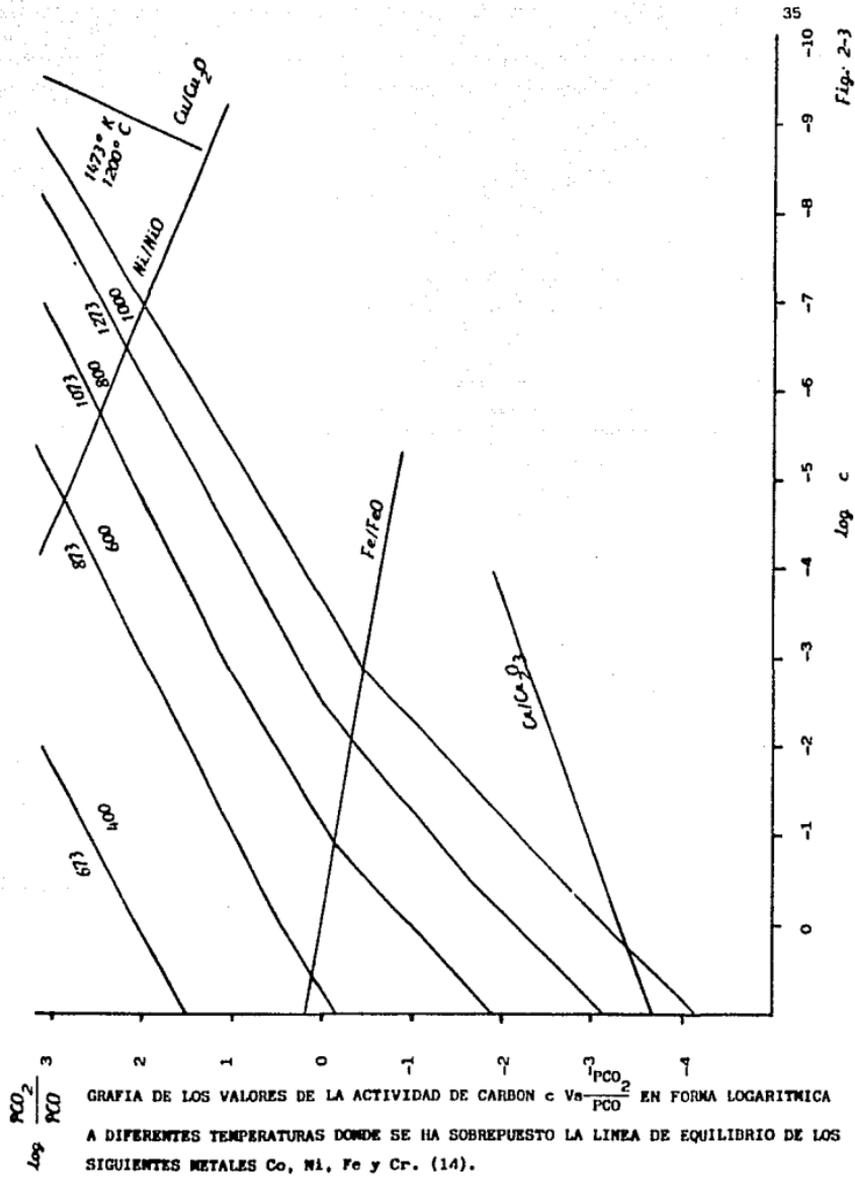


Fig. 2-3

GRAFICA QUE RELACIONA LA TEMPERATURA CONTRA EL VALOR DE LA RELACION $\frac{PCO^2}{PCO_2}$
 A DIFERENTES PORCENTAJES DE CARBON EN EL ACERO (3).

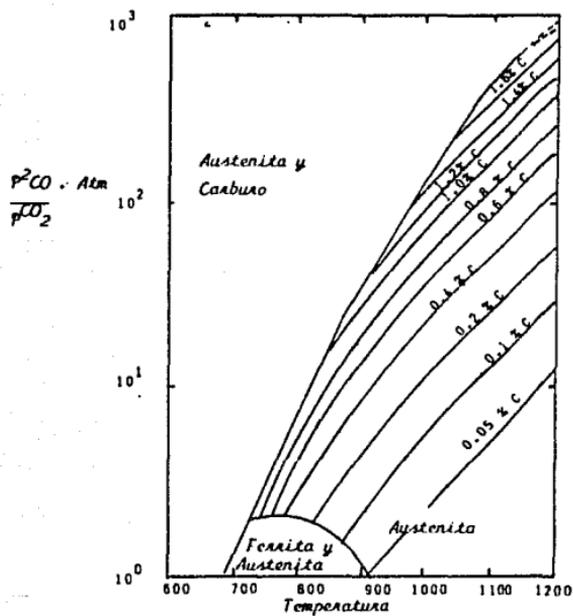


Fig. 2-4

GRAFICA QUE RELACIONA LA TEMPERATURA CONTRA EL VALOR DE LA RELACION $\frac{P^{2H_2}}{P^{CH_4}}$
A DIFERENTES PORCENTAJES DE CARBON EN EL ACERO (3)

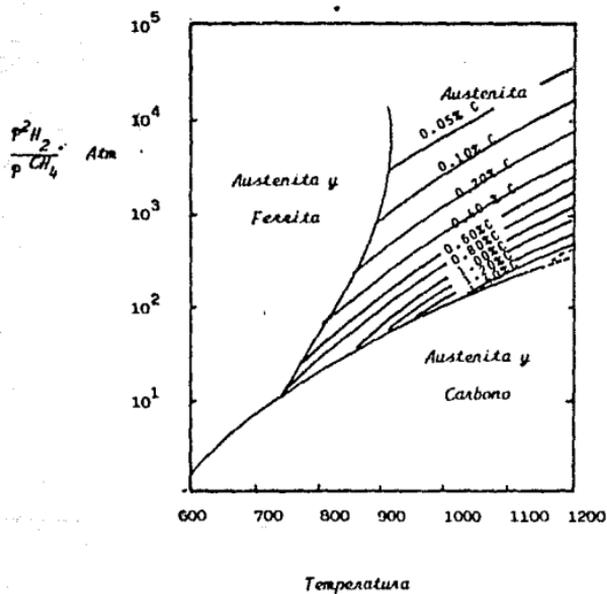


Fig. 2-5

GRAFICA QUE RELACIONA LA TEMPERATUA CONTRA EL VALOR DE $\frac{PCO PH_2}{PH_2O}$ PARA
 DIFERENTES PORCENTAJES DE CARBON EN EL ACERO (3).

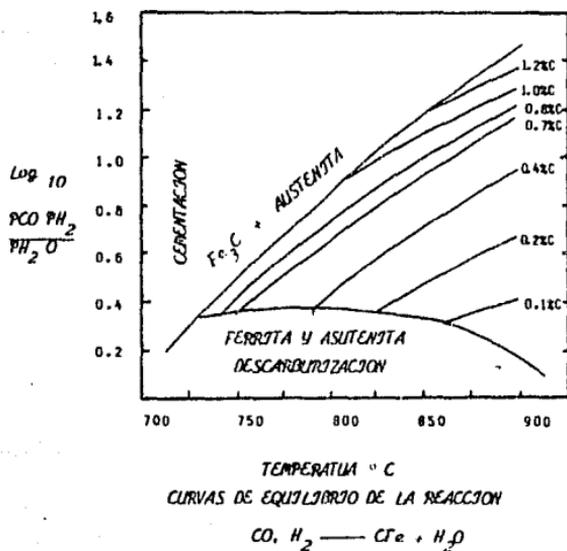


Fig. 2-6

GRAFICA QUE DEMUESTRA EL COMPORTAMIENTO DE ANADIR UN HIDROCARBURO A LA
 ATMOSFERA DEL HORNO Y EL CAMBIO QUE SE GENERA PARA EL CO_2 Y H_2O (16)

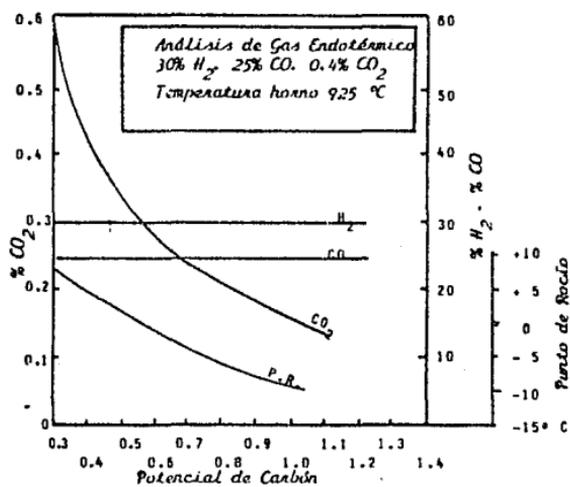


Fig. 2-7

Se puede observar que la reacción se lleva a cabo en la superficie de nuestro metal y que cuando añadimos un hidrocarburo a la atmósfera, esto hace que la reacción se complete y que de esta manera deposita el carbón en la superficie.

Sin embargo, al llevarse a cabo estas reacciones, se observa que hay una disminución en proporción de CO_2 y H_2O en el horno. La Fig. 2-7, nos muestra una gráfica de cómo se comportan los efectos de adicionar un hidrocarburo a la atmósfera del horno y los cambios en porcentajes de CO_2 , H_2 y CO , así como el punto de rocío, de la gráfica podemos observar en el recuadro, un análisis de un gas producido en un generador endotérmico y vemos que la disminución del porcentaje para el CO_2 y H_2O , viene a ser significativo, esto debido a los bajos porcentajes que se manejan para el CO_2 y H_2O .

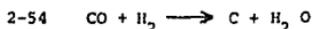
2.7 TRABAJO TERMODINAMICO.

Hasta ahora, se ha observado que podemos controlar nuestra presión parcial de oxígeno o controlar la descarburización y la carburización, utilizando un sistema Redox CO-CO₂ o un sistema Redox H₂-H₂O, pero ahora se debe de considerar una mezcla de estos dos sistemas, la razón por la cual debemos de hacer una consideración así; es que las atmósferas en la industria, por lo general son producidas utilizando un generador en el que utiliza la combustión parcial de un hidrocarburo, para producir gases como el CO, CO₂, H₂, H₂O y -trasas de CH₄, y como podemos observar son los gases que hemos estado mane-jando, aunque por separado, en los sistemas antes citados.

Al referirnos ahora en un sistema combinado, también se deberá de considerar las situaciones termodinámicas, en las cuales se cumplan los aspectos que hemos estado manejando para los sistemas por separado. Considerando así un --trabajo termodinámico, el cual nos demostrará una compatibilidad entre la situación teórica y la práctica.

Se considera, que un ejemplo, es la forma más fácil de entender y demostrar esta situación. Por ejemplo, si queremos realizar un carburado a un acero 1020 llevando a un valor superficial de carbón de 0.8 % a una temperatura de 900° C, en una atmósfera formada por los siguientes gases CO, H₂ y CH₄ y para lo cual utilizamos gases embotellados, para generar la atmósfera que posteriormente será introducida al horno de tratamientos.

Ya que vamos a realizar un carburado, debemos de considerar las siguientes -reacciones, las cuales ya hemos mencionado.



De la Figura 2-4 (3), se observa que para un potencial de carbón de 0.80, la relación $\frac{P_{\text{CO}}^2}{P_{\text{CO}_2}}$ = 10^{1.35}, sacando antilogaritmo, es igual a 22.38 y de -

La Figura 2-5 (3), para un potencial de carbón de 0.8, muestra la relación

$$\frac{P_{H_2}^2}{P_{CH_4}} = 10^{1.87}, \text{ cuyo antilogaritmo es (75).}$$

Ahora el sistema está compuesto por gases como el CO, CO₂, H₂, H₂O y CH₄ y la suma de las presiones parciales deberá ser igual a 1 atm.

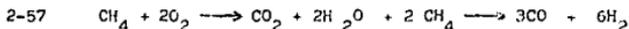
$$2-56 \quad P_{CO} + P_{CO_2} + P_{H_2} + P_{H_2O} + P_{CH_4} = 1$$

Pero las presiones parciales ejercidas por el CO₂, H₂O y CH₄, son muy pequeñas, comparadas con las ejercidas por el CO y H₂, haciendo esta consideración, se puede por el momento no tomar en cuenta las presiones ejercidas por el CO₂, H₂O y CH₄, quedando:

$$P_{CO} + P_{H_2} = 1$$

La razón de esta consideración es para reducir el número de variables y así poder resolver el problema con las ecuaciones disponibles.

Otra consideración que se tiene que adoptar, es que la atmósfera que se simulará es una atmósfera del tipo endotérmico, la cual industrialmente es generada por la combustión parcial de un hidrocarburo como el metano CH₄, en un reactor con catalizador y cuya reacción se lleva a cabo en dos pasos en el primero, parte del metano; reacciona con el oxígeno para dar CO₂ y H₂O y estos a la vez. En el segundo paso, reaccionan con más metano para producir CO y H₂ de acuerdo a las reacciones:



De donde se deduce que la atmósfera endotérmica está constituida por 3 moles de CO y 6 moles de H₂O, que el número de moles formados de hidrógeno es el doble de las formadas por el CO; por lo que se puede decir, que la atmósfera está constituida por 33% de CO y 66% de H₂, hablando en presiones parciales.

$$0.333 P_{CO} + 0.666 P_{H_2} = 1$$

Y esta consideración se puede utilizar en el problema, utilizando ahora el valor de la relación: (Pág. 28), Fig. 2-4

$$\frac{P_{CO}^2}{PCO_2} = 22.38$$

Y sustituyendo $PCO = 0.333$ y despejando a PCO_2 , tenemos que:

$$PCO_2 = \frac{(0.333)^2}{22.38} = \frac{0.110}{22.38} = 0.0049$$

Y este valor de PCO_2 , lo multiplicamos por 100 para convertirlo en %

$$.0049 \times 100 = 0.49 \% CO_2$$

Ahora para calcular el % CO, se sustituye el valor de la presión parcial del CO_2 en la siguiente ecuación:

$$2-58 \quad PCO + PCO_2 = 0.33$$

$$PCO + 0.0049 = 0.33$$

$$PCO = 0.33 - 0.0049 = 0.325$$

Que convertido en %

$$0.325 \times 100 = 32.5 \% CO$$

Y así también para la relación: Pág. (28), Fig. 2-5

$$\frac{P_{H_2}^2}{PCH_4} = 75$$

Sustituyendo el valor de la presión parcial del H_2 y despejando PCH_4

$$PCH_4 = \frac{(0.666)^2}{75} = \frac{0.443}{75} = 0.0059$$

Que convertido en %

$$0.00590 \times 100 = 0.59 \% CH_4$$

Siguiendo el mismo procedimiento, que se utilizó anteriormente:

$$2-59 \quad PH_2 + PCH_4 = 0.66$$

$$PH_2 = 0.66 - 0.0059 = 0.6541$$

Que convertido en %

$$0.654 \times 100 = 65.4 \% H_2$$

Ahora se determinará la cantidad de agua que se encuentra en equilibrio en el sistema, para lo cual utilizaremos la tercer reacción en donde:

$$2-54 \quad K = \frac{PH_2O}{PCO PH_2}$$

De la Figura 2-6 (3), se obtiene que para un potencial de carbón de 0.8 - la relación tiene un valor de $10^{1.22}$, sacando antilogaritmo a este valor, tenemos que es igual a 16.59

$$\frac{PCO \cdot PH_2}{PH_2O} = 16.59$$

Despejando PH_2O y substituyendo los valores antes encontrados para el PCO y PH_2 , tenemos que:

$$PH_2O = \frac{(PCO \cdot PH_2)}{16.59} = \frac{(0.32 \times 0.65)}{16.59} = \frac{0.209}{16.59} = 0.012$$

Que convertido en %

$$0.012 \times 100 = 1.2\% H_2O$$

El cual corresponde a un valor de punto de rocío de + 7° C

Por lo que la atmósfera para carburar deberá de ser la siguiente:

32.4 % CO , 0.49% CO_2 , 65.4 H_2 , 0.59% CH_4 , 1.2% H_2O

Comparada con la atmósfera de uso industrial:

20-45% CO , 30-45% H_2 , 05-1% CH_4 , PR-15, a + 15°C Resto Nitrógeno.

Como se puede ver, a partir de las Tres Reacciones de formación de carbón - naciente, la carburación, es un proceso esencialmente al no equilibrio, ya que en sí, se llevan a cabo las Tres Reacciones, en donde hay aumento en -- unos compuestos gaseosos y disminución en otros, afectando así las relaciones $\frac{PCO_2}{PCO}$ y $\frac{PH_2O}{PH_2}$ en la superficie del acero.

Por otra parte, también es necesario conocer la composición del acero, ya - que la carburación se ve afectada por los aleantes, debido a que hay elementos que tienen a formar carburos más estables que los de hierro, tales como el cromo, manganeso y molibdeno y otros menos estables con el silicio y níquel.

Por lo que, hay que aplicar correcciones, introduciendo un factor para poderlo utilizar en condiciones prácticas, y el cual nos compensaría la condición en no equilibrio y el debido por los aleantes del acero; con respecto a este punto, se da mayor información en el Apéndice 1.

2.8 CLASIFICACION DE LAS ATMOSFERAS.

Antes de iniciar el Capítulo No. III, se dará la clasificación de las -
Atmósferas Controladas, de acuerdo a las Normas de la AGA (American Gas
Association y los Equipos, que se utilizan para generar las atmósferas,
y que con más frecuencia se encuentran en uso industrial, sirviendo así
de base para poder calcular el simulador de atmósferas a nivel laborato-
rio.

Clasificación de las Atmósferas Controladas.-El propósito de las atmós-
feras controladas, es mantener los niveles de los constituyentes en una
atmósfera protectora y/o determinar un cambio en éstos, dando como re-
sultado una mejora.

2-8-1.- CLASIFICACION DE LAS ATMOSFERAS Y USOS MAS FRECUENTES
 (DE ACUERDO A LAS NORMAS DE LA AMERICAN GAS ASSOCIATION AGA)

Clase 100.- Base exotérmica, formada por la parcial o total combustión de la mezcla Gas-Aire, donde el vapor de agua es separado, para producir un bajo punto de rocío.

Clase 200.- Base nitrógeno preparada, utilizando una base exotérmica donde el bióxido de carbono y el vapor de agua es separado.

Clase 300.- Base endotérmica, formada por la reacción parcial al combustionar una mezcla de combustible-aire, en un reactor aparte con catalizador.

Base 400.- Base carbón, formada pasando aire a través de una cama de carbón incandescente.

Clase 500.- Base exotérmica-endotérmica, formada por la completa com bustión de una mezcla combustible-aire.

Separando el vapor de agua y transformando el bióxido de carbono a monóxido de carbono, haciéndolo reaccionar con más gas en un reactor aparte con catalizador.

Clase 600.- Base amoniaco, este puede consistir en amoniaco disociado o la parcial o completa combustión de éste, controlando el punto de rocío.

Estos seis grupos, tienen una subclasificación, cambiando la numeración de las últimas dos cifras de la clase. Indicando así la variación en el método con el que se ha preparado.

01.- Indica el uso de mezcla pobre de aire-gas.

02.- Indica el uso de una mezcla rica de aire-gas.

03-04.- Indica la preparación completa dentro del horno sin el uso de un generador.

- 05-06.- Indica la base original que fue subsecuentemente pasada a través de una cama incandescente de carbón, antes de administrarse al horno.
- 07-08.- Indica la adición de un hidrocarburo gaseoso a la base del gas antes de introducirse al horno.
- 09-10.- Indica la adición de un hidrocarburo y de amonio a la base del gas antes de introducirse al horno.
- 11-12.- Indica la adición de mezcla combustionada de un clorato con un combustible gaseoso y aire a la base antes de introducirse al horno.
- 13-14.- Indica que la base del gas ha tenido un tratamiento para remover todo el azufre y compuestos de éste, antes de introducirse al horno.
- 15-18.- Indica la adición de vapor de litio a la base del gas antes de introducirse al horno.
- 19-20.- Indica que la preparación del gas fue completamente dentro del horno con adición de vapor de litio.
- 21-22.- Indica que alguna adición especial fue añadida a la base -- del horno antes de introducirse al horno.
- 23-24.- Indica la adición de vapor y aire en conjunción con un catalizador dentro del generador, que convierte CO y el CO₂ es eliminado.
- 25-26.- Indica la adición en conjunción de vapor de agua y un catalizador, dentro del generador que cambie el metano CH₄ a H₂ y CO₂, el cual posteriormente es eliminado.

TABLA 2-8-A (15)

USOS DE LAS ATMOSFERAS

ATMOSFERA	PREPARACION	USO TIPOICO	COMPOSICION	METALES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
(1) EXOTERMICA POBRE	COMBUSTION PARCIAL	RECOCCIDO BRILLANTE Y LIMPIO	0-3 CO 0-4 H ₂ 13-1000 O ₂ 2-3 H ₂ O RESTO N ₂	COBRE NIQUEL LATON ALUMINIO	BARATA - NO EXPLOSIVA	PUEDE SER PAVI AZUFRE
(2) EXOTERMICA RICA	COMBUSTION PARCIAL	NORMALIZADO SOLDAR COBRE SINTERIZAR	9-1200 11-19 H ₂ 7-600 O ₂ 2-3 H ₂ O 1-20 H ₄	METALES FERROSOS	BARATA	PUEDE CAUSAR DECARBURACION
(3) EXOTERMICA LIGERAMENTE RICA	COMBUSTION PARCIAL, REMOVIENDO H ₂ O y CO ₂	CALENTIZADO CARBONITRIZADO SINTERIZADO RECOCCIDO BRILLANTE	10-1300 12-19 H ₂ R-N ₂	PARA TODOS LOS PROPPOSITOS.		MANTENIMIENTO, CARGA AUMENTA EL TAMAÑO DEL EQUIPO REQUERIDO
(4) EXOTERMICA LIGERAMENTE POBRE	COMBUSTION PARCIAL, REMOVIENDO H ₂ O y CO ₂	RECOCCIDO RESTAURADO DE CARBON	0-300 04 H ₂ R-N ₂	METALES FERROSOS	RELATIVAMENTE BARATA, NO EXPLOSIVO.	MANTENIMIENTO, CARGA AUMENTA EL TAMAÑO DEL EQUIPO REQUERIDO
(5) EXOTERMICA LIGERAMENTE MODIFICADA	COMBUSTION PARCIAL, REMOVIENDO CO ₂ Y H ₂ O	RECOCCIDO DE CICLO LARGO	3-12 H ₂ R-N ₂	ACERO DE BAJO Y MEDIO CARBON	BARATA NO POR MUY FLEXIBLE	MANTENIMIENTO, CARGA AUMENTA EL TAMAÑO DEL EQUIPO REQUERIDO.

PRINCIPALES USOS Y COMPOSICIONES DE LAS ATMOSFERAS CONTROLADAS

(6) ENDOTERMICA	REACCION DE COMBUSTION CATALIZADA	TEMPLADO SOLDADO SINTERIZADO CARBURIZADO CARBUNTRIZADO	20-25 CO 30-45 H ₂ 0.5-1 CH ₄ -15 a +15 °C PR RESTO N ₂	MATERIALES FERRICEOS	NO DECARBURIZA	EXPLOSIVA MANTENIMIENTO Y CONTROL, COSTOSO
(7) AMONIAO DISOCIADO	REACCION DE	RECOCIDO BRILLANTE Y LIMPIO SINTERIZADO	75% H ₂ 25% N ₂	ACERO INOX. ALEACIONES DE NIQUEL OTROS ACEROS	RELATIVAMENTE BARATA	EXPLOSIVA FUERTE CAUSAR NITRURACION.
(8) AMONIAO PARCIALMENTE COMBUSTIONADO	CATALIZADO LA REACCION DE OXIDACION.	RECOCIDO BRILLANTE Y LIMPIO SINTERIZADO	0.5 -25 H ₂ RESTO N ₂	ACERO INOX. ALEACIONES DE NIQUEL OTROS ACEROS.	RELATIVAMENTE BARATA Y MENOS EXPLOSIVA	FUERTE CAUSAR NITRURACION.
(9) AMONIAO TOTALMENTE COMBUSTIONADO	CATALIZADO LA REACCION DE OXIDACION	RECOCIDOS ESPECIALES TEMPLADO Y SINTERIZADO	+5-70°C PR RESTO N ₂	ALEACIONES ESPECIALES FERRICEOS Y NO FERRICEOS	NO EXPLOSIVA	
(10) HIDROGENO	ELECTROLISIS DEL AGUA PURIFICADO POR DIFUSION	RECOCIDO BRILLANTE Y LIMPIO SINTERIZADO	99.999% H ₂	ACERO INOX. ALEACIONES DE NIQUEL OTROS ACEROS A DONDE NO ES TOLERADO LA FORMACION DE NITRURON.	PURA, NO DA EFECTOS DE NITRURACION LOS CILINDROS RESISTEN BUNA FUGA ATENCION Y CAPITAL.	CARA Y EXPLOSIVA
(11) NITROGENO GRADO PURO	EN CILINDROS LARGOS LIQUIDO	RECOCIDO			NO EXPLOSIVO INERTE A TODO LOS METALES.	CARA
(12) ARGON	EN CILINDROS (LIQUIDO)	RECOCIDO BRILLANTE Y OTROS TRATAMIENTOS ESPECIALES	99.999% Ar	TITANIO ACEROS ESPECIALES	NO EXPLOSIVOS INERTES FOCA ATENCION	MUY CARA
(13) VAPOR	CALENTADOR ELECTICO	RECOCIDO BRILLANTE OTROS TRATAMIENTOS TECNICOS		ACERO COBRE	MUY BARATA NO EXPLOSIVA	DIFFICULTADES POR CONDENSACION

2-8-2.-

COMPOSICION DE LAS PRINCIPALES ATMOSFERAS (1)

CLASE	DESCRIPCION	COMPOSICION NOMINAL					PUNTO DE ROCIO °C
		% Vol.	N ₂	CO	CO ₂	H ₂	
101	Exotérmica Pobre	86.8	1.5	10.5	1.2		(c)
102	Exotérmica Rica	71.5	10.5	5.0	12.5	0.5	(c)
201	Nitrógeno Preparado Pobre	97.1	1.7	-	1.2	-	-40
202	Nitrógeno Preparado Rico	75.5	11	-	13.2	0.5	-40
301	Endotérmico Pobre	45.1	19.6	0.4	34.6	0.3	-7 a 10
302	Endotérmico Rico	39.8	20.7	-	38.7	0.8	-3 a 20
402	Base Carbón	64.1	34.7	-	1.2	-	-29
501	Exotérmico-Endotérmico Pobre	63.0	17.0	-	20	-	-56
502	Exotérmico-Endotérmico Rico	60.0	19	-	21.0	-	-45
601	Amonia Disociada	25.0	-	-	75.0		-51
621	Amonia Combustionada Pobre	99.0	-	-	1.0		(c)
622	Amonia Combustionada Rica	80	-	-	20		(c)

(c) El punto de Rocío está arriba 6° C de la temperatura de enfriamiento del -- agua; el punto de rocío, puede ser reducido a 5° C por refrigeración ó a -56° C utilizando una torre deshidratadora.

2.9 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS

Los más importantes, que podemos encontrar en uso industrial son los equipos para generar atmósferas del tipo o clase.

- 100 - Base Exotérmica
- 300 - Base Endotérmica
- 600 - Base Amoniacó Disociado.

2.9.1 Base 100 Exotérmica.- Las atmósferas exotérmicas son producidas en un generador, en el cual se introduce combustible y aire en una cámara de alta temperatura recubierta con refractario en donde previamente se le ha adherido el catalizador, logrando así una combustión parcial, el combustible el cual puede ser (keroseno, metano, propano o butano), es descompuesto en hidrógeno y monóxido de carbono, comburiéndose posteriormente en dióxido de carbono y vapor de agua, debido a la relación aire-combustible, generándose calor, de aquí, el nombre que toma el proceso, el gas producido es pasado a una cámara enfriadora para condensar el vapor de agua y controlar el punto de rocío, reduciendo la proporción de agua de 18% a 2.5%, bajando la temperatura de 1093°C a 21.1°C y si se enfría la atmósfera a -45°C, se llegan a porcentajes de 0.01% en agua. También está equipado con un control para variar la relación aire-combustible, que sirve para poder lograr producir la atmósfera deseada.

Los constituyentes y las concentraciones varían, dependiendo de la relación aire-combustible, por ejemplo; para una relación de combustión de 60% de la combustión perfecta, tendremos como análisis del gas producido, 6% CO₂, 14% H₂, 11% CO, 0.2% CH₄; siendo el resto Nitrógeno N₂.

Como se observa, este tipo de atmósferas contiene grandes cantidades de nitrógeno que van de 67-87% N₂ y porcentajes de CO de 1.5 a 20% de CO₂ de 5 a 11% y de H₂ de 1 a 13% con trazas de metano.

Las atmósferas exotérmicas se pueden dividir en dos grandes grupos:

1.- EXOTERMICA RICA

2.- EXOTERMICA POBRE

2.9.1-a Exotérmica Rica.- La cual es producida utilizando una relación aire-combustible, rico en combustible, dando como resultado un gas con altos porcentajes en CO e H₂ en contraste con la pobre, la cual dá bajos porcentajes de estos y altos porcentajes en CO₂ y vapor de agua. Ver Fig. 2-14

2.9.1-b Ventajas y Desventajas.- Las atmósferas exotérmicas son las más - - económicas y requieren de un bajo costo de mantenimiento y es aplicable a -- una gran variedad de relaciones aire-combustible puede ser usado para recoci dos brillantes o para tratar a ferrosos y no ferrosos, su potencial de des-- carburación es una desventaja.

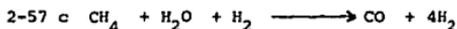
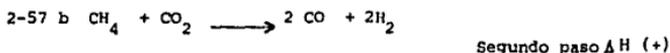
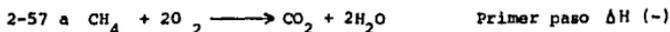
2.9.2 Base 300 Endotérmica.- Las atmósferas endotérmicas son producidas utilizando un generador en donde se introduce el combustible un hidrocarburo ga seoso y aire en proporción tal que la cantidad de oxígeno sea la suficiente para formar monóxido de carbono CO e Hidrógeno H₂, sin que se genere un exceso de bióxido de carbono CO₂ y vapor de agua, utilizando un catalizador, después la mezcla gaseosa se enfría pasando la mezcla gaseosa por una chaqueta, enfriada por agua hasta la temperatura de 315° C, esto se hace para que no - regrese la reacción del monóxido y forme hollín en la tubería.

Por lo general se utiliza gas natural, el cual esencialmente está compuesto de metano, por lo que la reacción del generador endotérmico es expresada como:



Conjunto a ésto, 3.8 volúmenes de Nitrógeno, por cada 2 volúmenes de gas metano, aunque la reacción no es verdaderamente endotérmica como el nombre del generador lo indica, la reacción es exotérmica; la verdad es que esta reacción se lleva en dos pasos, el primero algo de metano, se combustiona para formar bióxido de carbono y vapor de agua, siendo exotérmica, y la otra par-

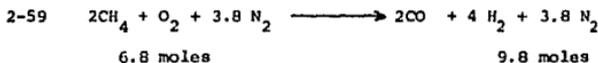
te del metano, reacciona con el dióxido de carbono y vapor de agua, dando como resultado la formación de monóxido de carbono e hidrógeno; siendo estas reacciones endotérmicas.



La temperatura de la cámara es muy importante, así como tener suficiente catalizador y que permanezca limpio, para obtener una reacción completa y así eliminar el exceso de metano, vapor de agua y dióxido de carbono; si la temperatura es baja, la reacción no es completa y el catalizador se cubre de hollín aumentando el porcentaje del bióxido de carbono, vapor de agua y metano en el gas producido, por lo que no se puede controlar el proceso, principalmente el potencial de carbón, el catalizador más usado es el óxido de níquel, impregnado en un refractario poroso.

La relación aire-gas puede ser variado ligeramente modificando el punto de rocío, sin afectar apreciablemente el porcentaje de bióxido de carbono y metano residual.

Para calcular el volumen molar, se puede expresar la reacción como:



El total indica un incremento en 3 moles, por lo que se deduce que produce más gas del que consume, bajo condiciones de presión y temperatura, normales standar; y si se considera que el gas natural está constituido del 100% de metano, en la salida del generador, tendremos 1.44 veces el total de gas de entrada y la siguiente composición de gas se obtiene.

$$\text{CO} = \frac{2}{9.8} \times 100 = 20.4 \%$$

$$\text{H}_2 = \frac{4}{9.8} \times 100 = 40.8 \%$$

$$\text{N}_2 = \frac{3.8}{3.8} \times 100 = \frac{38.8}{100} \%$$

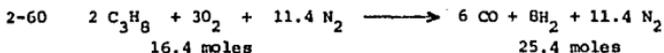
Pero por lo general el gas natural, no está compuesto de metano puro, dando variaciones en la composición final y en la relación aire-gas, utilizada -- teóricamente que debería de ser 2.4, utilizando relaciones de 2.34 a 2.44, dando un análisis de gas de:

$$\text{CO}_2 \quad 0.1 \% \quad \text{CH}_4 \quad 0.5 \%$$

$$\text{CO} \quad 19.9 \% \quad \text{N}_2 \quad 39.0 \%$$

$$\text{H}_2 \quad 40.4 \% \quad \text{H}_2\text{O} \quad 0.2 \%$$

Empleo del Gas Propano.- Aunque por lo general se utiliza el gas natural, - el propano y el butano; puede también ser usada la reacción del gas propano en el generador:



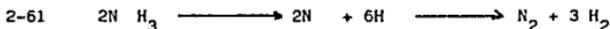
Por otra parte, este tipo de generadores tiene un costo de operación, tres - veces mayor que el exotérmico, pero tiene ventajas mayores, industrialmente es el más usado y existen 5 generadores endotérmicos, por cada exotérmico. - Ver Fig. 2-15

Al tipo de atmósferas endotérmicas, también se le puede inyectar a la entrada del horno de tratamiento, gas natural y amoníaco; representando así una - ventaja, ya que se pueden realizar carbonitrurados, reduciéndose los costos de operación y el tiempo de tratamiento.

2.9.3 Base 600 Amoníaco Disociado.- Este tipo de atmósferas utiliza un ge-nerador en donde el amoníaco es preparado para formar tres atmósferas protec-toras, consistentes en nitrógeno e hidrógeno.

Clase 601	75%	N ₂ ,	25%	H ₂
Clase 621	99%	N ₂ ,	1%	H ₂
Clase 622	80%	N ₂ ,	20%	H ₂

La clase 601, es preparada utilizando amoniaco líquido calentado en presencia de un catalizador de Fe o Ni, la descomposición en nitrógeno e hidrógeno se realiza en un intervalo de temperaturas de 315.5° C a 982.9° C incrementándose como va aumentando la temperatura, siendo la última la temperatura óptima de trabajo para conservar el equipo, cuando se desea preparar una atmósfera para proteger el bronce o los aceros inoxidables, se utiliza temperaturas de descomposición de 1093.3° C, para prevenir y minimizar la superficie nitrurada a 21.1° C, y 101.325 KP (1 Atm), 454 g. de amoniaco líquido produce 637.13 litros de gas, los cuales al pasar -- por el disociador se transforman en el doble en volumen o sea 1274.4 litros de gas que tiene en su composición 75% H₂ y 25% H₂, de acuerdo a la reacción. Ver Fig. 2-16



Uso del Amoniaco Combustionado.- Cuando el amoniaco es quemado, el resultado es la composición de la atmósfera 621, la cual contiene 99 a 99.75% y de 1.0 a 0.25 % H₂, requiriéndose para producir 28 317 litros de 6.219 Kg. de amoniaco, una combustión parcial daría como resultado una atmósfera con (80% N₂ y 20% H₂), designada por la Clase 622.

Reacción de Combustión del Amoniaco:

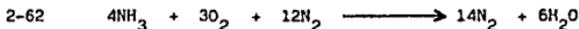


DIAGRAMA DE EQUIPO EXOTERMICO

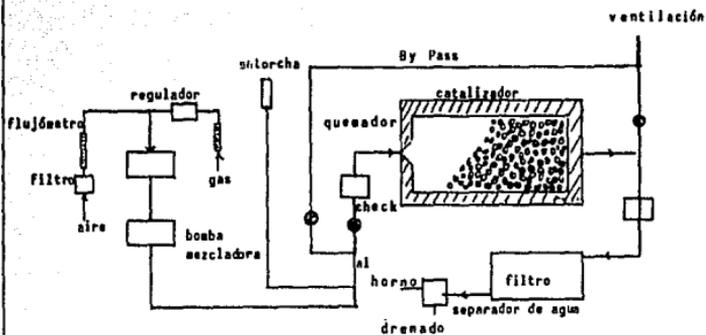


Fig. 2-14

DIAGRAMA DE EQUIPO ENDOTERMICO

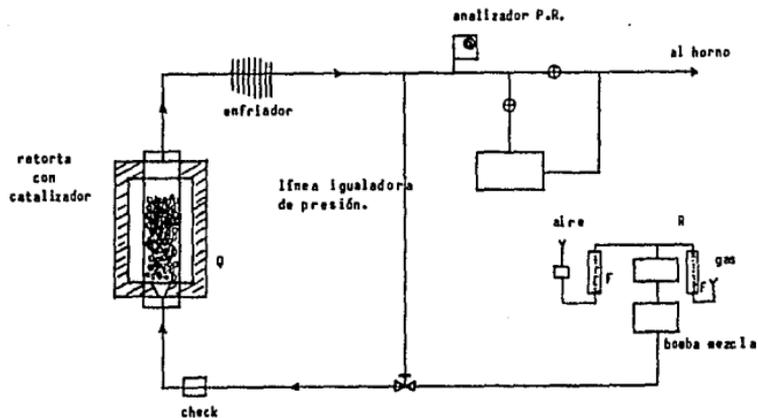


Fig. 2-15

DIAGRAMA DE EQUIPO DE AMONIACO DISOCIADO

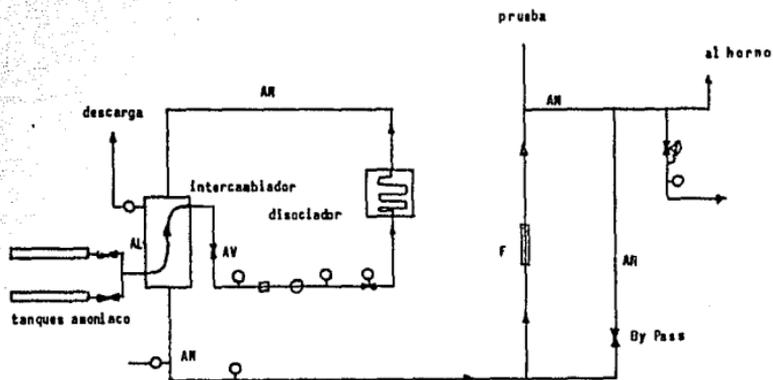
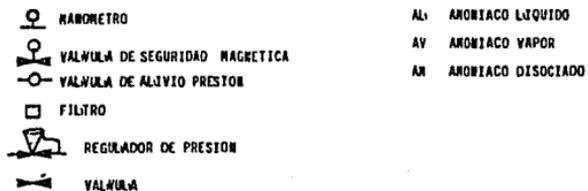


Fig. 2-16



CAPITULO III

CALCULO DEL APARATO SIMULADOR

3.1 INTRODUCCION

Para calcular el Aparato Simulador de Atmósferas Controladas, se debe - de hacer consideraciones a los siguientes puntos:

- 1.- Se requiere, de un diseño práctico, con un tamaño adecuado, para ser usado a nivel laboratorio.
- 2.- El Aparato Simulador, deberá ser operable, con elementos que faciliten su manejo, y aparatos para poder registrar temperatura, flujo de gases y presión de los mismos.
- 3.- Deberá de contar con un sistema de seguridad, apropiado al aparato.

Con respecto al Punto Número 1, la consideración práctica del diseño del aparato, se refiere a tres partes fundamentales. (Ver Fig. 3-1

- 1a. Parte. Alimentación de Gases.
- 2a. Parte. Dispositivo de mezclado de Gases.
- 3a. Parte. Horno de Pruebas.

1a. Parte. Alimentación de Gases.- Los gases que se utilizan para producir, la atmósfera gaseosa, están contenidas en cilindros de acero de - presentación comercial, teniendo un cilindro por cada especie de gas que necesita, éstos pueden ser CO_2 , CH_4 , N_2 , NH_3 , y CO ; cada cilindro deberá de contar con su manómetro de salida y su válvula reguladora de presión.

2a. Parte. Dispositivo de Mezclado de los Gases.- Como se utiliza gases por separado es necesario el uso de un mezclador en donde podemos controlar la proporción de los gases que conforman la atmósfera antes de introducir al horno.

3a. Parte. Horno de Tratamiento.- Puede ser utilizado un horno de calentado a base de resistencias eléctricas y que tenga un buen control de -- temperaturas; en la parte de la cámara, deberá contar con un buen sellado, contando también con una cortina de flama para el quemado del gas -- que sale del horno. Ver Fig. 3-2

En estas tres partes, prácticamente, se ha descrito el equipo del proceso, en donde se puede realizar tratamientos térmicos con atmósferas controladas.

Si comparamos estas tres partes del equipo con los equipos que se utilizan industrialmente, se puede ver que las dos primeras partes del simulador viene a ser el generador de atmósferas, que es donde se produce el gas del tratamiento a nivel industrial.

Por otra parte, para poder calcular el aparato simulador necesitamos, de datos para el diseño del equipo; por lo que tomaremos datos de los equipos que industrialmente se encuentran en uso a fin de poder realizar una analogía con el Aparato Simulador.

Es evidente, que no hay un criterio universal que determine una selección particular en el método de análisis y de todos los factores que contribuyen deben reconocerse, antes de poder decidir en una manera en particular.

Trataremos de llegar al Modelo Físico, el cual estará descrito matemáticamente, formulando las bases para la comprensión de las operaciones en donde en muchas ocasiones los datos empíricos, lleva una ventaja a la teoría; esto es verdad, en el hecho de que hay modelos en que se encuentran sobre-simplificados y es aquí donde la formulación matemática, tratará de comprender el comportamiento del modelo.

3-2 CALCULO DEL TAMAÑO DEL HORNO

Como primer punto, se definirá el tamaño de la cámara del horno de tratamiento, considerando que este debe tener una dimensión adecuada a la car

ga, la cual consistirá en las piezas o pieza que se desee tratar, además se requiere también de un espacio para poder maniobrar las piezas dentro del horno, de manera que la carga no roce con las paredes del horno, a fin de proteger la vida del refractario, así también se requiere de un espacio donde el gas producido para el tratamiento, circule y entre en contacto con la superficie de las piezas a tratar.

Como en algunos tratamientos, existe un intercambio químico en la interfase gas-sólido es necesario que el gas se esté renovando para que continúe la reacción por lo que el gas deberá de encontrarse en movimiento -- constante, y este movimiento puede ser producido por un ventilador.

Habiendo hecho estas consideraciones al volumen que requerimos, se considerará que la carga tiene una figura, de un cilindro cuyo volumen esté expresado como:

$$3-2-1 \quad V_c = \pi r_c^2 L$$

Considérese también que la forma de la cámara del horno, tenga una figura a la de la carga, la razón de hacer esta consideración es para poder expresar en un momento dado el volumen del horno con respecto al volumen de la carga.

$$3-2-2 \quad V_H = \pi r_H^2 L$$

Ahora se hace variar el radio desde un mínimo hasta un máximo para poder definir el tamaño propicio de acuerdo a las necesidades de volumen, para lo cual mantendremos a L, sin variación.

Considerando un mínimo, en donde $r_H = r_c$, por consecuencia tenemos que el mínimo de la cámara del horno será igual al radio que tenemos por carga, pero vemos que de acuerdo a los requisitos de volumen que tenemos, no tendremos volumen para maniobrar las piezas, ni tampoco volumen por donde pueda circular el gas de tratamiento, por lo cual vemos que esto no funciona.

Ahora considerando un máximo de $r_H = 4 r_C$, con este máximo vemos que - cumple con los requisitos de volumen que hemos considerado, pero exagera damente por lo que se presenta una nueva restricción, la parte económica del sistema, por lo que este máximo también vemos que no funciona.

Ahora consideremos una medida donde $r_H = 2 r_C$, se ve que tomando esta di mensión, estamos cumpliendo con los requisitos de volumen y reducimos -- considerablemente la cuestión económica, aunque no se le puede decir que es lo óptimo si se representa un punto de partida para un análisis posterior, el cual deberá de estar basado en la eficiencia contra un costo y un volumen del horno.

Considérese pues, que nuestra carga tiene un radio = 50 mm y h=100 y su volumen será de:

$$3-2-1a \quad V_C = 3.1416 \times (50)^2 \times 100 = 785400 \text{ mm}^3$$

Ahora para calcular el volumen del horno:

$$r_H = 2 r_C$$

6

$$r_H = 2 (50 \text{ mm}) = 100 \text{ mm}$$

Por lo que el volumen de la cámara del horno será:

$$3-2-2a. \quad V_H = 3.1416 \times (100 \text{ mm})^2 \times 100 = 3141600 \text{ mm}^3$$

La razón en volúmenes queda:

$$3-2-3 \quad V = \frac{3141600 \text{ mm}^3}{785400 \text{ mm}^3} = 4$$

Una regla empírica dice que el volumen del horno deberá de ser de 4 a 5 veces el volumen de la carga. (18)

3-3. CALCULO PARA EL FLUJO DE GAS.

El flujo de gas requerido, dependerá del tipo de tratamiento que se vaya

a realizar, por ejemplo cuando se va a realizar un recocido brillante el flujo requerido será menor al de un carburado, porque en el primero no se realiza una transferencia de masa como es que se realiza en el carburado, u otro tipo de tratamiento en el que si se presenta la transferencia de masa.

Se tiene por ejemplo un tratamiento de carburado a un material 1020, el cual se realiza a 900° C, teniendo un potencial de carbón en la superficie 1.2 con una profundidad de carburado de 1 mm, y tiempo de tratamiento de carburado de 4 horas. (calculado por la ecuación de Fick).

Se considera que la atmósfera carburante puede estar constituida en 3 -- formas:

- 1.- Utilizando, solo monóxido de carbono.
- 2.- Utilizando, una mezcla de CO y CO₂
- 3.- Utilizando, una mezcla de CO y CO₂ con adición de un hidrocarburo.

Considerando que la probeta, tiene las siguientes dimensiones r=50 mm y L = 100 mm.

$$3-2-1b \quad V_p = \pi r^2 \cdot L = 3.1416 \times (50)^2 \times 100 = 785\,300 \text{ mm}^3$$

y como se especificó que se desea una capa carburada de 1 mm, se calcula el volumen del material carburado de la siguiente forma:

$$3-3-1 \quad V \text{ Carburado} = V \text{ probeta} - V \text{ no carburado.}$$

$$3-3-2 \quad V \text{ No carburado} = (49)^2 \times 98 = 739\,212 \text{ mm}^3$$

$$3-3-1a \quad V \text{ carburado} = 785\,400 \text{ mm}^3 - 739\,213 \text{ mm}^3 = 46\,088 \text{ mm}^3$$

Para calcular el peso del material carburado se utiliza la densidad del acero = 7.85 g cm⁻³

$$3-3-3 \quad M = \rho \cdot v = 7.85 \text{ g/cm}^3 \times 46,088 \text{ cm}^3 = 361.8 \text{ g de material carburado.}$$

3-4 CONTENIDO DE CARBON EN LA CAPA CARBURADA.

Para DETERMINAR EL % de carbón en la capa carburada, se debe de tomar el promedio; debido a que la capa carburada está constituida por 3 zonas -- que contienen diferentes % de carbón.

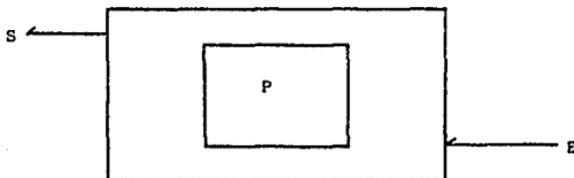
Por lo que tomando como 1.2% C en la superficie y 0.2 al terminar la capa carburada.

$$3-4.1 \quad \frac{1.2 \% C + 0.2 \% C}{2} = 0.7 \% \text{ de carbón}$$

Y la diferencia entre este contenido de carbón y el carbón original de la probeta dará el carbón adsorbido.

0.70% Carbón en la capa
0.20% Carbón original
 0.50% De carbón adsorbido

3-4-I Primera Forma. - Sistema basado utilizando únicamente - monóxido de carbono como gas carburante.



3-3-I-1 Ecuación de Balance General $E=P+S$

Ya que la reacción de carburación es:



Donde C* es carbón naciente.

Se toma como base para el cálculo del Balance 361.8 g. de material carburado.

Cantidad de carbón adsorbido. $361.8 \text{ g.} \times (.005) = 1.809 \text{ g.}$ de carbón ó:

$$\psi \frac{1.809 \text{ g}}{12 \text{ g/mol}} = 0.1507 \text{ moles de C}$$

Siendo la ecuación estequiométrica:

$$3-4-I-2 \quad 2 (28) = 44 + 12$$

De donde se calcula la cantidad de CO, requeridos, para formar 1.809 g de carbón.

$$\begin{array}{ll} 3-4-1-2a. & 56-12 \\ & X-1.809 \\ & X = 8.442 \text{ g de CO} \end{array}$$

ó

$$3-4-I-2a. \quad \frac{8.442 \text{ g}}{28 \text{ g/mol}} = 0.3015 \text{ moles de CO}$$

Ahora se calcula el volumen de CO a partir de la ecuación.

$$3-4-1-3 \quad PV = nRT$$

Donde:

P = Presión atm.

V = Volumen litros

n = n° de moles

R = Cte de Edo. gaseoso = $0.08206 \frac{\text{atm l}}{\text{mol grado}}$

T = Temperatura en ° K

Despejando de la ecuación anterior a $V =$ Volumen.

$$3-4-1-3a. \quad V = \frac{nRT}{P}$$

Sustituyendo los datos, $P = 1 \text{ atm}$, $n = 0.3015$ y $T = 293.15^\circ \text{ K}$

$$3-4-1-3a. \quad V = \frac{0.3015 \times 0.08206 \times 293.15}{1} = 7.25 \text{ l.}$$

Cálculo del CO_2 formado, de la ecuación estequiométrica se tiene:

$$\begin{array}{r} 3-4-1-2a. \quad 56 - 44 \\ 8.442 - X \\ X = 6.633 \text{ g de } \text{CO}_2 \end{array}$$

ó:

$$\frac{6.633 \text{ g de } \text{CO}_2}{44 \text{ g/mol}} = 0.1507 \text{ moles de } \text{CO}_2$$

Comprobación utilizando la ecuación general:

$$\begin{array}{r} 3-4-I-1 \quad E = S + P \\ 8.442 \text{ g} = 6.633 + 1.809 \text{ g} \end{array}$$

En términos de volumen, se tiene:

$$\text{Volumen de CO a la entrada} = 7.25 \text{ l}$$

Para calcular el volumen de salida, se utiliza la ecuación general del estado gaseoso, para $n=0.1507$ de CO_2

$$3-4-I-3a. \quad V_B = \frac{0.1507 \times 0.08206 \times 293.15}{1} = 3.6 \text{ l}$$

Pero como el sistema se encuentra a 900° C , (1073.15° K), el volumen se incrementa debido a un cambio de densidad del gas, y se calcula utilizando la Ley Charles o GAY - LUSSAC.

$$3-4-I-4 \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Despejando V_2

$$3-4-I-4a. \quad V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{3.6 \times 1073.15^\circ K}{293.15} = 13.27 \text{ l}$$

Como se puede ver, este sería el resultado del balance de materia en el sistema. Esto si todo el CO que entró al sistema, reacciona con la superficie del metal.

Pero debido a que hay que mantener la relación de las presiones parciales de CO y CO₂, para obtener un potencial de carbón en la superficie - de 1.2% C, es por esto, que es necesario tener un exceso de CO para mantener en el equilibrio, al CO₂ formado por la reacción.

Para calcular este exceso, es necesario saber el valor de la relación $\frac{PCO^2}{PCO_2}$, para una temperatura de 900° C y 1.2 % C, de potencial en la superficie.

Este dato se puede obtener de la gráfica 2-4 del Capítulo anterior, en donde se tiene que:

$$3-4-I-5 \quad \frac{PCO^2}{PCO_2} = 10^{1.7} = 50.1$$

3-4-Ia.- CALCULO DEL EXCESO DE CO

El número de moles de CO₂ formado por la reacción es 0.1507 y de la relación se tiene que:

$$3-4-Ia-1 \quad \frac{PCO^2}{PCO_2} = 50.1$$

Pero como también:

$$P_i = \frac{n_i}{n_t} P_t$$

Donde:

n_i = n° de moles del componente i

n_t = n° de moles totales

P_t = Presión total del sistema.

Por lo que:

$$3-4-1a-2 \quad PCO = \frac{nCO}{nt} P_t$$

$$3-4-1a-3 \quad PCO_2 = \frac{nCO_2}{nt} P_t$$

Cambiando estos términos en la relación 3-4-I se tiene:

$$3-4-1a-4 \quad \frac{\frac{nCO}{nt} P_t^2}{\frac{nCO_2}{nt} P_t} = 50.1$$

y como $P_t = 1$ atmósfera:

$$3-4-1a-5 \quad \frac{\frac{nCO^2}{nt^2}}{\frac{nCO_2}{nt}} = 50.1$$

Despejando nCO , se tiene:

$$3-4-1a-6 \quad \left(\frac{nCO}{nt}\right)^2 = 50.1 \frac{nCO_2}{nt}$$

$$3-4-1a-7 \quad \frac{nCO^2}{nt^2} = 50.1 \frac{nCO_2}{nt}$$

Despejando:

$$3-4-1a-8 \quad nCO^2 = \frac{50.1 nCO_2 nt^2}{nt} = 50.1 nCO_2 nt$$

Pero como: $nCO + nCO_2 = nt$

Se sustituye en la ecuación:

$$3-4-1a-9 \quad nCO^2 = 50.1 nCO_2 (nCO + nCO_2)$$

$$3-4-1a-9a \quad nCO^2 = 50.1 (nCO_2 nCO) + 50.2 (nCO_2)^2$$

Sustituimos el valor de:

$$n_{CO_2} = 0.1507$$

$$3-4-Ia-9a \quad n_{CO}^2 = 50.1 (0.1507) n_{CO} + 50.1 (0.1507)^2$$

$$n_{CO}^2 = 7.55 n_{CO} + 1.1377$$

Reacomodando la ecuación, se tiene:

$$n_{CO}^2 - 7.55 n_{CO} - 1.1377 = 0$$

Resolviendo la ecuación, se tiene:

$$n_{CO} = 7.69 \text{ moles de CO}$$

Este exceso más el que reacciona, dan la cantidad de monóxido que se requiere en E o sea el flujo de CO, en la entrada del sistema.

$$3-4-Ia-10 \quad E_p = 7.69 \text{ moles de CO} + 0.3015 \text{ moles de CO} = 7.99 \text{ moles CO}$$

o un volumen de:

$$V = \frac{7.99 \times 0.08206 \times 293.15}{1} = 192.24 \text{ l de CO}$$

Ahora si se divide este flujo entre el número de horas que requiere el proceso, se obtiene el gasto.

De la tabla F-7 del apéndice No. 1, se tiene que para una profundidad de carburado de 1 mm. a 900° C, se requiere aproximadamente de 4 horas

Determinación del gasto:

$$\frac{192.24 \text{ l de CO}}{4 \text{ horas}} = 48.06 \text{ l/hora}$$

Si se compara este gasto con el volumen de la cámara del horno que es de 3.1416 litros, se tiene la siguiente relación:

$$\xi = \frac{48.06}{3.1416} = 15.29$$

3-4-II Segunda Forma.- Ahora se considera que el gas de la atmósfera carburante está constituida por una mezcla de Co y CO₂ en E.

Primero, se definirá que mezcla de gas es necesaria, para mantener el potencial a 1.2% a 900° C, sabiendo que la relación $\frac{PCO^2}{PCO_2} = 50.1$

Y considerando que:

$$3-4-II-1 \quad PCO_2 + PCO = 1 \quad \text{y} \quad \frac{PCO^2}{PCO_2} = 50.1 \quad \text{ó} \quad PCO_2 = \frac{PCO^2}{50.1}$$

Resolviendo, se tiene que:

$$\frac{PCO^2}{50.1} + PCO = 1$$

$$\frac{PCO^2}{50.1} + PCO - 1 = 0$$

Resolviendo:

$$PCO = 0.9812$$

Y como:

$$PCO + PCO_2 = 1$$

$$PCO_2 = 1 - 0.9812 = 0.0187$$

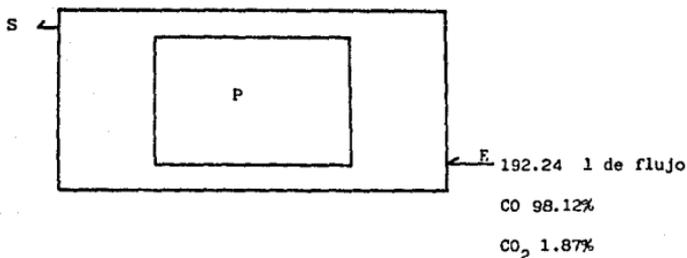
o en términos volumétricos, se tiene que:

$$98.12\% \text{ de CO y } 1.87\% \text{ de CO}_2$$

Esta será la composición de la mezcla que se introducirá al sistema.

Apriori, se puede ver, que si cuando se utiliza solo monóxido de carbono, se requería de un exceso para mantener el CO₂ formado por la reacción y así mantener el equilibrio; ahora se requiere de un flujo mayor en E,

debido a la cantidad de CO_2 que se introduce al sistema.



Calculando la cantidad de CO_2 que se introduce al sistema.

$$192.24 \times 0.0187 = 3.59 \text{ l de } \text{CO}_2$$

Determinando el No. de moles:

$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1 \times 3.59}{0.08206 \cdot 293.15} = \frac{3.59}{24.05} = 0.1494 \text{ moles de } \text{CO}_2$$

Cantidad de moles totales de CO_2 en el sistema.

Es igual a moles de CO_2 formados por la reacción + moles de CO_2 que se introduce.

$$\text{Moles totales } \text{CO}_2 = 0.1407 + 0.1494 = 0.2901$$

Ahora se sustituye este valor en la ecuación (3-4-Ia-9) Pág.68

$$n_{\text{CO}}^2 = 50.1 n_{\text{CO}_2} (n_{\text{CO}} + n_{\text{CO}_2})$$

$$n_{\text{CO}}^2 = 50.1 n_{\text{CO}_2} + 50.1 (n_{\text{CO}_2})^2$$

$$= 50.1 (0.2901) n_{\text{CO}} + 50.1 (0.2901)^2$$

$$= 14.534 n_{\text{CO}} + 4.216$$

Quedando la ecuación:

$$nCO^2 - 14.534 nCO - 4.216 = 0$$

Resolviendo tenemos que:

$$nCO = 14.81 \text{ moles de CO}$$

Moles totales de CO = moles necesarios para mantener el equilibrio.

+ moles de CO que reaccionan

$$3-4-II-3 \text{ Moles totales de CO} = 14.81 + 0.3015 = 15.11$$

o un volumen de:

$$V = \frac{15.11 \times 0.08206 \times 293.15}{1} = 363.52 \text{ l de CO}$$

Que será el flujo de CO en E. Pero como el gas tiene una fracción volumétrica, de CO de 0.9812 el volumen aumentará, por lo que el flujo en la entrada queda como sigue:

$$E = \frac{363.52}{0.9812} = 370.48 \text{ l de gas (CO, CO}_2\text{) en E}$$

Calculando el gasto se tiene que:

$$\frac{370.48}{4 \text{ horas}} = 92.62 \text{ l/hora}$$

Y dividido el gasto contra el volumen de la cámara se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{92.62}{3.1416} = 29.48$$

Como una observación, si al mantener el mismo flujo de 192.24 l con la mezcla de gas de 98.12 % CO y 1.87 de CO₂ al incrementarse la cantidad de CO₂ en el sistema, debido a la reacción de carburación, la relación

$\frac{PCO^2}{PCO_2}$, va a tender a modificarse decreciendo su valor, y por lo mismo - disminuirá el potencial de carbón en la superficie.

Como:

$$nCO = 7.69 \text{ y } nCO_2 = 0.1507$$

$$nt = nCO + nCO_2 = 7.69 + 0.1507 = 7.84$$

A este valor de nt se le suma la cantidad de moles que se introduce en la mezcla gaseosa de $CO_2 = 0.1494$

Por lo que $\overline{nt} = 7.84 + 0.1494 = 7.989$

Y ahora el número de moles de CO_2 , se ha modificado en el sistema a:

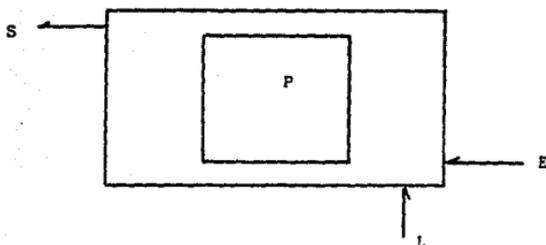
$$0.507 + 0.1494 = 0.3001$$

Sustituyendo en la ecuación, los valores, se tiene:

$$3-4-II-3 \quad \frac{\frac{nCO^2}{nt^2}}{\frac{nCO_2}{\overline{nt}}} = \frac{\frac{7.69^2}{7.989^2}}{\frac{0.3001}{7.989}} = \frac{0.9266}{0.03756} = 24.66$$

Se puede observar una fuerte reducción de más del 50% en el valor de la relación, y por lo tanto disminuye el valor del potencial de carbón hasta un valor de 0.9% C a la misma temperatura. (Ver Fig. 2-4)

3-4-III Tercera Forma.- Utilizando un gas de composición 98.12% CO y 1.87 % CO_2 y un hidrocarburo gaseoso.



$$3-4-III-1, \text{Ecuación General } E + L = P + S$$

Como anteriormente se vió, que para producir 1.809 g de C, se requiere de 8.442 g de CO ó 0.3015 moles de CO (Pág. 65).

o de un volumen de CO de:

$$V = \frac{0.3015 \times 0.08206 \times 293.15}{1} = 7.12 \text{ l de CO}$$

Dividiendo este volumen entre la fracción volumétrica de CO en la mezcla gaseosa, se tiene:

$$\frac{7.12 \text{ l CO}}{0.9812} = 7.256 \text{ l de gas} = E$$

Pero a la vez se introduce al sistema CO_2

$$7.256 \times 0.0188 = 0.1364 \text{ l de CO}_2$$

Si se calcula las moles totales de CO_2 en el sistema, se tendrá que sumar las moles de CO_2 debidas a la reacción más lo que se introduce de CO_2 por la mezcla gaseosa.

$$3-4-III-2 \quad \text{Moles totales de CO}_2 = 0.1507 + 0.0056 = 0.1563 \text{ moles de CO}_2$$

De la reacción:



En donde la ecuación estequiométrica, queda como:

$$3-4-III-3 \quad 16 + 44 = 56 + 4$$

Calculando la cantidad de metano que deberá reaccionar con el CO_2

$$3-4-II-3a/ \quad \begin{aligned} 16 - 44 \\ X - \underline{0.1563 \times 44} \\ X = 2.50 \text{ g de CH}_4 \\ \frac{2.50}{16} = 0.1563 \text{ moles de CH}_4 \end{aligned}$$

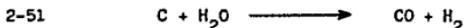
Con un volumen de:

$$V = \frac{0.1563 \times 0.08206 \times 293.15}{1} = 3.759 \text{ l de CH}_4$$

Ahora también se puede calcular la cantidad de hidrógeno, que se forma por la reacción, utilizando la ecuación estequiométrica, se tiene:

$$\begin{aligned} 16 - 4 \\ 25.50 - X \\ X = 0.625 \text{ g de hidrógeno} \\ \frac{0.625}{2} = 0.3125 \text{ moles de H}_2 \end{aligned}$$

Se considera la reacción:



Donde:

$$K = \frac{P_{CO} \cdot P_{H_2}}{Q_c \cdot P_{H_2O}}$$

En donde K tiene un valor para 900° C y 1.2 % C, de 22.38 (Ver Fig. 2-6).

$$\frac{P_{CO} \cdot P_{H_2}}{P_{H_2O}} = 22.38$$

O en términos de fracción mol:

$$3-4-III-4 \quad \frac{\frac{n_{CO}}{nt} P}{\frac{n_{H_2O}}{nt} P} = 22.38 \quad \frac{\frac{n_{H_2}}{nt} P}{\frac{n_{H_2O}}{nt} P} = \frac{\frac{1}{nt} (n_{CO} \cdot n_{H_2} P)}{\frac{n_{H_2O}}{nt} P}$$

Quedando:

$$\frac{n_{CO} \cdot n_{H_2}}{n_{H_2O}} = 22.38$$

Despejando n_{H_2O} y sustituyendo los valores de $n_{CO} = 0.3015$ y $n_{H_2} = 0.3125$

$$n_{H_2O} = \frac{n_{CO} \cdot n_{H_2}}{22.38} = \frac{0.3015 \times 0.3125}{22.38} = \frac{0.09421}{22.38} = 0.0042$$

y como:

$$3-4-III-5 \quad nt = n_{CO} + n_{H_2} + n_{H_2O}$$

$$nt = 0.3015 + 0.3125 + 0.0042 = 0.6182 \text{ moles}$$

Por lo que:

$$P_{CO} = \frac{n_{CO}}{nt} P = \frac{0.3015}{0.6182} = 0.4877$$

$$P_{H_2} = \frac{n_{H_2}}{nt} P = \frac{0.3125}{0.6182} = 0.5054$$

$$P_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{nt} P = \frac{0.0042}{0.6182} = 0.0067$$

Dando un valor de punto de rocío de -5.9°C

O dicho en términos de % en volumen:

$$\text{CO} = 48.17 \%$$

$$\text{H}_2 = 50.54 \%$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0.67 \%$$

O un volumen de gases:

$$\frac{0.6182 \times 0.08206 \times 293.15}{1} = 14.87 \text{ l}$$

Como se puede ver el flujo en S aumenta, debido a que se genera el H_2 , pero el flujo final de salida se transforma a una cantidad mayor, debido al aumento de temperatura, que en este caso es de 900°C .

Y se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$V_1 = 14.87 \text{ l}, T_1 = 293.15 \text{ K}, T_2 = 1173.15 \text{ K}$$

Sustituyendo y despejando V_2

$$V_2 = \frac{14.87}{293.15} \times 1173.15 = 59.51 \text{ l} = S$$

El volumen aumenta debido al cambio de densidad de los gases, pero la masa se conserva.

Como se puede ver, al añadir un hidrocarburo al horno, se reduce al mf-

nimo el gasto de gas carburante. Si se añade un hidrocarburo más pesado como el propano el cual tiene una reacción de descomposición de:



Teniendo una tendencia a aumentar el potencial de carbón en la superficie reduciendo el consumo de hidrocarburo en el sistema.

3-4-IV.- Haciendo un análisis de los resultados obtenidos, en las tres diferentes formas de poder realizar el carburado, se realiza una Tabla en la cual se puede observar, que los sistemas, antes descritos tienen un potencial masico de carbón de 1.809 gramos en 4 horas, en una carga de 6.165 kg. de material acero, considerando un volumen de la cámara - del horno de 3.1416 litros. Ver Tabla 3-2

La razón por la que se realiza esta tabla es, comprarar y conocer las características principales de trabajo en los sistemas y así en un momento dado, saber cómo se comportarán éstas, si lo escalamos a nivel - industrial.

Se ha hablado de la carga como parámetro del sistema, por lo que haciendo un enfoque a ésta, podemos ver que la carga está en funsión del número de piezas que la conforman, implicando que la superficie a tratar está en funsión de la geometría de las piezas que conformen la carga.

El volumen a tratar, el cual está definido por la superficie a tratar y la profundidad del tratamiento, se considera como parámetro de trabajo, el cual al relacionarlo con el potencial necesario en la superficie de carbón, indica el grado masico de carbón necesario durante el tratamiento, y esto lo podemos ajustar a la capacidad de trabajo del equipo, esto es, variando el volumen a tratar, aumentando o disminuyendo la superficie a tratar que por consecuencia modifica el número de piezas que - conforman la carga.

COMPARACION DE LOS RESULTADOS EN LOS TRES SISTEMAS
PROPUESTOS PARA CARBURAR

POTENCIAL MASICO DE FORMACION DE CARBON 1.809 g/4HORAS	CAPACIDAD DE CARGA 6.165 KG			VOLUMEN CAMARA HORNO 3.1416 L		
	1a. FORMA	2a. FORMA	3a. FORMA			
POTENCIAL DE CARBON EN LA SUPERFICIE	1.2 % C	1.2 % C	1.2% C			
CARBON PROMEDIO EN 1 MM DE TRATAMIENTO	0.7 % C	0.7 % C	0.7% C			
CARBON ADSORBIDO POR LA CAR GA	0.5 % C	0.5 % C	0.5% C			
VOLUMEN A TRATAR mm ³	46.088	46.088	46.088			
SUPERFICIE A TRATAR mm ²	46.088	46.088	46.088			
MASA A TRATAR	361.8 g	361.8 g	361.8 g			
TIEMPO DEL TRATAMIENTO HORAS	4	4	4			
TEMPERATURA ° C	900	900	900			
ATMOSFERA CARBURANTE COMPOSICION DEL GAS	CO-100%	CO 96.12 % CO ₂ 1.97%	CH ₄ CO 96.12% CO ₂ 1.87%			
GASTO DE GAS CARBURANTE 1/h	48.06	92.62	1.7800/CO ₂ 0.939 2.719 CH ₄			
FLUJO DE GAS CARBURANTE litros	192.24	370.48	10.88 l			
RELACION g GASTO /VOLUMEN CAMARA H	15.29	29.48	0.865			

TABLA No. 3-2

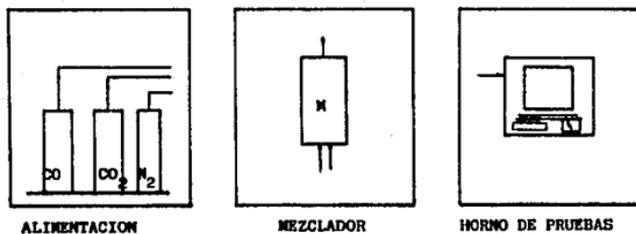
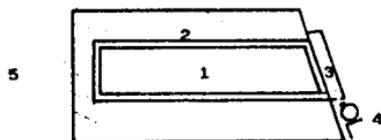


Fig. 3-1



CORTE DE HORNO DE PRUEBAS

Fig. 3-2

- 1.- CAMARA DEL HORNO
- 2.- ELEMENTOS DE CALENTAMIENTO Y REFRACTARIO
- 3.- PUERTA DEL HORNO
- 4.- QUEMADOR
- 5.- ALIMENTACION DE GASES

3-5 DISEÑO DEL MEZCLADOR

El mezclador de gas, tiene la función principal de preparar adecuadamente la atmósfera que se necesita para realizar el tratamiento térmico respectivo.

El mezclador se puede dividir en dos partes:

- 1.- Inyectores de los gases.
- 2.- Zona de homogenizado de la mezcla gaseosa.

3-5-I INYECTORES DE LOS GASES.— Su función, será la de introducir convenientemente los gases al recipiente mezclador, cuando se introducen dos o más gases al recipiente mezclador, se sabe que en un momento dado se tendrá que manejar diferentes cantidades de éstos, por lo que se tendrá que utilizar un dispositivo tal que permita asegurar el flujo de estos, hacia la cámara mezcladora.

Como por ejemplo, considérese que requerimos mezclar CO y CO₂, para formar una atmósfera donde la presión del CO es > a la presión del CO₂.

En este caso, para poder introducir el CO₂ a la cámara será necesario aumentar la presión de salida y esto se puede lograr reduciendo el diámetro del tubo, aumentando así la velocidad pero manteniendo el gasto constante, de acuerdo a la siguiente fórmula:

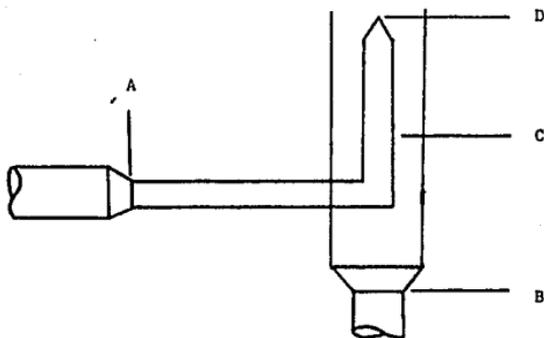
3-5-I-1

$$G = V \cdot A = V_1 \cdot A_1$$

G = Gasto V = Velocidad A = Area transversal del tubo.

la cual dice que el área es inversamente proporcional a la velocidad y viceversa.

Por lo que se define que el dispositivo inyector tendrá la forma siguiente:



Haciendo un análisis punto a punto de lo que sucede en el dispositivo inyector, se tiene lo siguiente:

En el punto A, se observa que hay una reducción del diámetro de la tubería que lleva al CO_2 , aumentando así su velocidad de acuerdo a la reducción del área.

En el punto B, se observa que hay un aumento en el diámetro de la tubería, por lo que la velocidad del CO disminuye debido al aumento del área.

En el punto C, donde debido a la posición coaxial de los tubos el área que contiene al CO se ve reducida nuevamente, por el tubo que lleva al CO_2 , aumentando así la velocidad del gas CO .

Punto D, en esta zona se tendrá que hacer la consideración, en donde la velocidad del gas CO_2 sea igual o un poco mayor a la velocidad que tenga el CO , para asegurar así los gases fluyan al interior del recipiente

mezclador.

3-5-II ZONA DE HOMOGENIZADO DE LA MEZCLA GASEOSA

Se sabe que al introducir en su recipiente dos o más gases, éstos tendrán a mezclarse por difusión, de acuerdo a sus constantes de difusibilidad. (estado estable).

Pero como tenemos un flujo constante de estos gases, se debe de considerar que el transporte molecular se realiza en un estado inestable; - donde la constante de difusibilidad se ve afectada por el movimiento - del gas, aumentando considerablemente la constante de difusibilidad -- cuando existe turbulencia, ya que se generan flujos de remolino.

Por lo que, si se desea que la mezcla gaseosa sea homogénea en el menor tiempo posible, se tendrá que mantener un estado inestable.

3-5-Ia. CALCULO DEL DISPOSITIVO INYECTOR.- Considerando, por ejemplo - que se requiere mezclar CO y CO₂ para formar una atmósfera que tenga presión parcial de CO de 0.9812 atm, y la presión parcial de CO₂ sea - 0.0188 atm. como se vió en la Pág. 70 los gastos necesarios para poder tener una presión parcial de CO y CO₂ son:

$$G_{CO} = 90.87 \text{ l} \qquad G_{CO_2} = 1.74 \text{ l}$$

Considerando que la tubería en donde se transporta el gas es de 1/8 cé dula 40, con un diámetro interior de 0.677 cm.

Cálculo de las condiciones de entrada de los dos gases.- Para el CO, se determinará primero la velocidad con los datos de flujo y área del tubo.

3-5-I-1

$$G = V \cdot A$$

despejando la velocidad:

$$v = \frac{G}{A} = \frac{90870 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1}}{0.359 \text{ cm}^2} = 253 \text{ 119.7 cm h}^{-1}$$

Que transformados a cm seg^{-1} , tenemos:

$$253 \text{ 119.7 cm h}^{-1} \times (3600)^{-1} \text{ seg h} = 70.31 \text{ cm seg}^{-1}$$

del mismo modo para el CO_2

$$v = \frac{G}{A} = \frac{1749}{0.359} = 4871.8 \times (3600)^{-1} = 1.35 \text{ cm seg}^{-1}$$

Cálculo de las regiones de flujo que se encuentran estos gases a la entrada.

Para el CO a 25°C

$$3-5-I-2 \quad \text{Re} = \frac{D V \rho}{\mu} = \frac{0.677 \times 70.31 \times 1.25 \times 10^{-3}}{0.0181} = 3.28$$

Por lo que el flujo del CO está en zona laminar

Para el CO_2

$$\text{Re} = \frac{D V \rho}{\mu} = \frac{0.677 \times 1.35 \times 1.97 \times 10^{-3}}{0.016} = 0.1125$$

Considerando ahora el Punto A del Inyector, Ver Pág. 81 Fig. en donde se requiere de una reducción en el área del tubo de entrada para aumentar la velocidad del CO_2

Como:

$$3-5-I-1 \quad G = V \cdot A = V_1 \cdot A$$

donde se considera que se realiza una reducción del área del 50%, ó expresado en términos matemáticos.

$$A_1 = \frac{1}{2} A$$

despejando V_1 de la fórmula anterior se tiene:

$$V_1 = \frac{V \cdot A}{A_1} = \frac{V \cdot A}{\frac{1}{2} A} = \frac{1.35 \text{ cm seg}^{-1} \times 0.359 \text{ cm}^2}{\frac{1}{2} (0.359)}$$

$$V_1 = 2.7 \text{ cm seg}^{-1}$$

y el diámetro de la reducción ha quedado como:

$$A_1 = \frac{1}{2} A = 0.5 (0.359) = 0.179 \text{ cm}^2$$

Y como:

$$\pi r^2 = 0.179 \text{ cm}^2$$

despejando a r = radio

$$r = \frac{\sqrt{0.179}}{3.1416} = 0.239 \text{ cm}$$

Y como:

$$2 r = D = 2 (0.239) = 0.478 \text{ cm}$$

ó

$$4.78 \text{ mm.}$$

Considerando ahora, el punto B, Ver Fig. Pág. (81), donde para el CO el área aumenta para reducir la velocidad.

Pero debido que en el punto C, en donde el dispositivo contiene al tubo que lleva el CO_2 creándose una reducción del área, se debe considerar a esta para así calcular el diámetro necesario en el punto B.

Manejo de la siguiente forma:

$$\text{Como: } G = V \cdot A.$$

diferenciando, se tiene que:

$$dG = V \cdot dA + A \cdot dV$$

Integrando se tiene:

$$\int dG = V \int dA + A \int dV$$

$$G = V (A_2 - A_1) + A (V_2 - V_1)$$

De donde se considera que el segundo término, se refiere a las condiciones del tubo interior, y ya que no hay contacto entre los fluidos no lo tomaremos en cuenta.

Quedando: $G = V (A_2 - A_1)$

Sustituyendo en la ecuación: 3-5-I-1, se tiene:

$$V \cdot A = V_1 (A_2 - A_1^*)$$

Donde el área A_1^* es el área transversal del tubo que contiene al CO_2 , considerando el espesor de la pared del tubo.

$$A_1^* = \pi r^2 = 3.1416 (4.78 + 1.01)^2 = 18.18 \text{ mm}^2 = 0.1818 \text{ cm}^2$$

Despejando a A_2 de la fórmula anterior y considerando que se requiere de una reducción de la velocidad en el punto C de 0.5 de la velocidad de entrada se tiene.

$$A_2 = \frac{V \cdot A}{\frac{1}{2} V} + 0.1818 \text{ cm}^2$$

Sustituyendo los datos:

$$A_2 = \frac{70.31 (0.359)}{35.15} + 0.1818 = 0.899 \text{ cm}^2$$

$$A = \pi r^2 = 0.899 \text{ cm}^2$$

$$r = \frac{\sqrt{0.899}}{3.1416} = 6.535 \text{ cm} = 5.35 \text{ mm}$$

y como:

$$D = 2 r = 2 (5.35) = 10.7 \text{ mm interior } \emptyset$$

Consideración final en el punto D, $V_{CO_2} \geq V_{CO}$

Se consideran las condiciones en el tubo de CO_2 y las condiciones en el coaxial de CO , se tiene:

$$V_{CO} A = V_{CO_2} A_1$$

$$2.7 (0.179) = 35.15 (A_1)$$

Despejando A_1 :

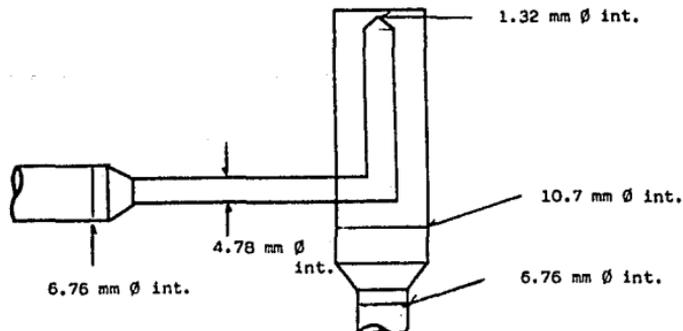
$$A_1 = \frac{2.7 (0.179)}{35.15} = 0.01374 \text{ cm}^2$$

Y sustituyendo para encontrar el radio:

$$r = \frac{\sqrt{0.01374}}{3.1416} = 0.066 \text{ cm} = 0.66 \text{ mm}$$

$$D = 2 r = 2 (0.66) = 1.32 \text{ mm de diámetro interior}$$

Por lo tanto las dimensiones del dispositivo inyector quedan como sigue:



Con respecto al homogenizado de la mezcla gaseosa, se tiene que en este caso, se manejan cantidades pequeñas de los gases, puesto que se está considerando un nivel laboratorio en donde los flujos que se manejan -- difícilmente llegarán a regímenes turbulentos, los cuales por definición son aquellos, en donde el número de Reynolds sean mayores a 3000.

$$Re > 3000$$

En este caso es necesario crear una turbulencia artificial dentro de la cámara y esto, se puede lograr empacando con canicas de vidrio o cerámica.

Por otra parte, para determinar el volumen de la cámara del mezclador, se puede utilizar dos caminos:

El primero utilizando la fórmula de transporte de masa en estado estacionario. y;

El segundo, haciendo las consideraciones necesarias para que funcione, de acuerdo a las demás partes que conforman al aparato.

3-5-IIa. CALCULO DEL VOLUMEN DE LA CAMARA DE MEZCLADO.- Tomando el primer camino, se utiliza la fórmula de transporte molecular en estado estacionario.

$$3-5-IIa-1 \quad \frac{N_a}{A} = \frac{D}{RT} \frac{dPa}{dx}$$

Donde:

$$\frac{N_a}{A} = \text{es el flujo en el estado estacionario.}$$

$$N_a = \text{tasa de transporte de masa g mol h}^{-1}$$

$$A = \text{área de transporte cm}^2$$

$$D = \text{difusividad de transporte generalizado cm}^2/\text{hora}$$

$$R = \text{constante de los gases cm}^3 (\text{atm}) \text{ y mol}^{-1} \circ \text{K}^{-1}$$

P_a = presión parcial del gas a

T = temperatura absoluta en ° K

dx = distancia donde se realiza la transferencia

Considérese que el recipiente mezclador tiene un diámetro de 10 cm - - (100 mm) y el flujo de CO sea de 75.14 litros hora⁻¹, que multiplicados por su densidad, se tiene:

$$92.62 \text{ litros hora}^{-1} \times 1.125 \text{ g litros}^{-1} = 115.77 \text{ g hora}^{-1}$$

o que en moles hora⁻¹, será:

$$115.77 \text{ hora}^{-1} \frac{1 \text{ g mol}}{28 \text{ g de CO}} = 4.134 \text{ g mol hora}^{-1} = N_a$$

$$= 0.137 \cdot \text{cm}^2 \text{ seg}^{-1} \times 3600 \text{ seg hora}^{-1} = 493.2 \text{ cm}^2 \text{ hora}^{-1}$$

$$R = 82.05 \text{ cm}^3 \text{ atm g mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$T = 25^\circ \text{ C} = 298.15^\circ \text{ K}$$

$$A = 3.1416 \times (5 \times 5) = 78.54 \text{ cm}^2$$

* Dato tomado del Perry and Chilton Chemical Engineers Handbook, Fifth Edition, Página 3-222

Sustituyendo en la fórmula:

$$\frac{N_a}{A} = \frac{D}{RT} \frac{dP_a}{dx}$$

Donde $dx = dr$

$$\frac{N_a}{A} = \frac{493.2}{24466} \frac{0.9812}{5} \quad 0.00395 \text{ g mol hora}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

De donde se puede definir el área como $\tilde{\pi} x d \times L$

Donde $\tilde{\pi} x d$ es el perímetro.

Despejando el área de la ecuación:

$$A = \frac{Na}{0.00395}$$

Sustituyendo la definición de área:

$$\pi r^2 \times L = \frac{Na}{0.00395}$$

Despejando a L

$$L = \frac{Na}{0.00395} (\pi \cdot r^2)$$

Sustituyendo datos:

$$L = \frac{4.134}{0.00395} (31.916) = 32.79 \text{ cm}$$

Quedando el volumen de la cámara del mezclador como:

$$V = \pi r^2 \times L = 3.1416 \times (5)^2 \times 32.79 = 2,575 \text{ cm}^3$$

La segunda forma se puede considerar como una forma práctica, en donde es considerado el gasto de gas por hora y el volumen del horno, en este caso, se tiene que:

Con un gasto de 92.62 litros hora⁻¹

Y un volumen del horno de 3.1416 litros

Dividiendo estos dos valores:

$$\frac{92.62}{3.1416} = 29.48 \text{ hora}^{-1}$$

Interpretando este resultado como el número de veces que cambia el gas en el horno por hora.

Si se divide entre 60, se tendrá el número de veces que cambia el gas por minuto:

$$\frac{29.48}{60} = 0.491 \text{ veces min}^{-1}$$

Si se multiplica por 3.1416 que es el volumen del horno, se tiene:

$$0.49 \times 3.1416 = 1.53 \text{ litros} \quad (18)$$

CAPITULO IV

DESARROLLO DEL APARATO

4.1 INTRODUCCION

Los capítulos anteriores son la base para definir claramente el Aparato Simulador de Atmósferas Controladas, donde por un lado se ha tratado los distintos aspectos termodinámicos en forma tal, que se entienda el principio en el cual las atmósferas se comportan y por otro lado se ha hecho énfasis en cuanto a su utilidad y equipos industriales en uso.

Además, se ha efectuado un diseño práctico del sistema para poder llevarlo a nivel laboratorio, guardando una analogía con los equipos industriales.

Este capítulo tiene por objeto, tratar en forma práctica de aplicar lo antes mencionado en cuanto a la definición de las partes del equipo que compondrán el aparato simulador y como deberá de funcionar.

4.2 DESCRIPCION E IMPORTANCIA DEL APARATO.

En el capítulo anterior, se definió que el Diseño práctico del Aparato Simulador debería de estar formado por tres partes fundamentales, las cuales son:

- 1.- Alimentación de gases
- 2.- Dispositivo Mezclador
- 3.- Horno Pruebas

De la primera parte, la cual se refiere a la Alimentación de Gases, se propuso que se utilizara gases embotellados en presentación comercial de cilindros donde el aparato utilizará los siguientes gases: Nitrógeno, Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Metano y Amoniaco; requiriéndose de un cilindro por cada especie de gas.

Este tipo de gases, van a ser los que se estarán manejando, para formar - - - las atmósferas requeridas, de acuerdo al tratamiento que se desee efectuar - en el Horno.

En cierta forma este diseño nos va a servir para formar una serie de atmósferas para diferentes tipos de tratamiento, presentando así una flexibilidad de poder producir una atmósfera protectora o producir una atmósfera para realizar un cambio en la composición de la superficie, esto es una gran ventaja, - porque conociendo bien el funcionamiento del aparato, una vez que se haya - - construido, se podrán realizar tratamientos como son el Recocido Brillante, - el Templado Limpio, el Carburizado o el Carbonitrurado.

De la segunda parte, que viene a ser el dispositivo de mezclado de gases y -- que será la parte más importante del aparato, ya que es aquí donde se controlan las cantidades de los gases necesarios para poder así formar la atmósfera requerida.

El control de mezclado, se basa principalmente en las cantidades necesarias - de gases que conformen una especie en particular de atmósferas y ésto lo lo-- gramos utilizando válvulas de paso y flujómetros, así como medidores de flujo los cuales registran la cantidad de gas que se ha utilizado y a la salida del mezclador, una toma de muestras donde se sacarán muestras de gas preparado y analizarlo, siendo así una manera práctica de comparar la atmósfera obtenida con la que deseamos producir.

Será necesario que se elaboren una serie de cartas de trabajo, una para cada tipo de atmósfera, por ejemplo: para mezclas del tipo CO-CO_2 , $\text{CO-CO}_2-\text{N}_2$ ó $\text{CO-CO}_2-\text{CH}_4$ y así de esta forma controlar la atmósfera con mayor facilidad.

La tercera parte y la última, el Horno viene a ser la parte operativa del tra tamiento térmico, que aunado al tipo de atmósfera previamente producida, nos conformará el proceso deseado.

4.3 ANALISIS POR PARTES DEL APARATO

Alimentación de Gases.

Como anteriormente se mencionó, los gases para el aparato simulador se podrán conseguir en cilindros de tipo comercial, estos cilindros contienen el gas a una alta presión, por lo que es necesario utilizar una válvula reguladora es-

pecial, la cual contiene en la parte superior dos manómetros, uno registrando en un rango amplio la presión de entrada y el otro la presión baja de salida, la válvula es manual y se puede variar la presión de salida del gas moviéndola.

La salida de la válvula reguladora está conectada a la tubería que lleva al gas hasta el dispositivo mezclador, por lo que se requiere de una tubería por cada especie de gas que se desee llevar al dispositivo mezclador, cada línea de tubería además, deberá de contar con un flujómetro y un indicador de presión, el cual deberá de ser el adecuado, dependiendo del gas que se trate, la tubería también deberá de contar con una válvula de peso, para sí poder dirigir el gas. (Ver Fig. 4-1)

El material de la tubería, puede ser vidrio o tubo galvanizado o de cobre.

Segunda Parte. Dispositivo Mezclador.

El dispositivo mezclador, puede ser constituido por un cilindro de vidrio con dos tapas de acero (Ver Fig. 4-2), las tapas deberán de contar con una cavidad para poder alojar al cilindro de vidrio, siendo necesario utilizar una junta, ya sea de neopreno o teflón para evitar fuga de gases. Por la tapa de abajo están conectadas las tuberías donde se introducirán los gases para su mezclado y por la parte de arriba, la tapa tendrá una salida donde pasará el gas ya mezclado a una tubería que contendrá una salida para la toma de muestras y una válvula de tres vías para dirigir el gas a un quemador mientras se calibra la mezcla y que una vez calibrada ésta, se pueda desviar el flujo de gas hacia la tubería que lleva al Horno de Tratamiento, esto cuando sea necesario y esté preparado el Horno para poder recibir el gas. (Ver Fig. 4-3)

Tercera Parte. Horno de Pruebas.

Se puede utilizar un horno de calentamiento a base de resistencias eléctricas y que contenga un control de temperaturas preciso y confiable, la cámara deberá de ser construida con una puerta de acceso que se pueda sellar, por un la-

do de la cámara se introducirá el gas preparado y por un dispositivo de la -- puerta deberá de salir el gas a un quemador o también se podrá acoplar un quemador a la puerta, la razón del uso del quemador es combustionar el gas de la mezcla, el cual puede contener monóxido de carbono e hidrógeno, que debido a su carácter altamente combustible no se le puede dejar escapar y acumular en la habitación que contenga el aparato, además el CO es altamente tóxico. (Ver Fig. 4-3)

4.4 CALCULOS PARA LA CONSTRUCCION DE UN APARATO SIMULADOR PARA 10 KG DE CARGA.

En el capítulo anterior, se hizo un análisis de los sistemas en donde se llegó a la conclusión que para tener un potencial de carbón, formado de 1.809g en cuatro horas, era necesario utilizar, dependiendo de la composición del gas carburante de un gasto máximo de gas de 92.62 l/hora a un mínimo de 2.719 l/hora con un volumen de cámara del horno de 3.1416 Dm^3 y para una carga de trabajo de 6.165 Kg.

Consideramos ahora que se desea construir el aparato simulador para 10 kg de carga. El volumen de cámara de tratamiento, la podemos calcular de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 4-4-1 \quad & 6.165 \text{ Kg} - 3.1416 \text{ Dm}^3 \\
 & 10 \text{ Kg} - X \\
 & X = \frac{10 \times 3.1416}{6.165} = 5.096 \text{ Dm}^3
 \end{aligned}$$

Y considerando que en 6.165 Kg de material a tratar contenía 361.8 g de material a carburar, ahora con 10 Kg de material a tratar tendremos:

$$\begin{aligned}
 4-4-2 \quad & 6.165 \text{ Kg} - 361.8 \text{ g} \\
 & 10 \text{ Kg} - X \\
 & X = 586.8 \text{ g de material a carburar}
 \end{aligned}$$

Dividiéndolo entre la densidad del acero tendremos:

$$4-4-3 \quad \frac{586.86 \text{ g}}{7.85 \text{ g/cm}^3} = 74.76 \text{ cm}^3$$

Que viene a ser el volumen a tratar en este caso el carburizado.

Ahora sí para formar un volumen carburizado de 46/09 cm³ se requirió de un gasto de 2.719 l/hora utilizando un gas carburante (CO-CO₂-CH₄) o un flujo de 10.88 l/hora para formar 74.76 cm³ de material carburizado, se requiere de un flujo de:

$$\begin{array}{rcl}
 4-4-4 & 46.09 & - & 10.88 \\
 & 74.76 & - & X \\
 & & & X = 17.64 \text{ l de gas carburante}
 \end{array}$$

o un gasto de $\frac{17.64}{4} = 4.41$ l/hora

y el potencial de carbón formado, será de:

$$\begin{array}{rcl}
 4-4-5 & 10.88 & - & 1.89 \text{ g de carbón} \\
 & 17.64 & - & X \\
 & & & X = 2.93 \text{ g de carbón}
 \end{array}$$

Por otra parte para saber el diámetro de la tubería que se necesita para la construcción del aparato, se debe de considerar el gasto máximo que se utilizará, considerando el sistema (CO-CO₂) y el cual es de 92.62 l/hora para un potencial masico de carbón de 1.809

Por lo que para 2.93 g de carbón, se requiere:

$$\begin{array}{rcl}
 4-4-6 & 92.62 \text{ l/hora} & - & 1.809 \text{ g de carbón} \\
 & & & X - 2.93 \text{ g de carbón} \\
 X & = & \frac{92.62 \times 2.93 \text{ g de carbón}}{1.809 \text{ g de carbón}} & = 150.0 \text{ l hora} \\
 150.0 & \frac{1}{\text{hora}} & \times & \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 2.50 \text{ l/min.}
 \end{array}$$

De la tabla B-15 del CRANE. FLOW OF FLUIDS.

Se puede ver que para el valor mínimo en tablas de 0.128 ft³/min (3.624 l/min) manejado en tres tipos de diámetros de tubería, cédula 40 y son 1/8, - 1/4, 3/8 ó 6.74, 9.12, 12.64 milímetros de Ø Int.

Se tiene respectivamente, una caída de presión en libras/IN² en 100 ft (30.48 m.) de longitud.

1/8	1/4	3/8	Cédula 40
0.361	0.083	0.018	libras/IN ²
6.74	9.12	12.64	MM.
0.025	0.0058	0.0012	Kg/cm ²

6

Se puede observar que la tubería de 1/8 (6.74 mm.) nos sirve perfectamente, ya que el gasto mínimo es de:

3.624 l/min

y sólo se manejará: 2.058 l/min.

La caída de presión viene a ser muy pequeña aún cuando ésta es inversamente -- proporcional a la presión absoluta y directamente proporcional a la temperatura.

Para lo cual, se utiliza un factor que se obtiene con la siguiente fórmula, -- cuando la presión en la línea no es de 100 lb/IN² (7.03 Kg/cm²) o la temperatura es mayor de 60° F (15.5° C).

$$\frac{100 + 14.7}{P + 14.7} \times \frac{460 + t}{520}$$

Por ejemplo, si la presión de la línea es de 14.7 lb/m² (1.03 Kg/cm²) a 68°F ó (20° C), sustituyendo los datos en la fórmula anterior, tenemos:

$$\frac{100 + 14.7}{14.7 + 14.7} \times \frac{460 + t}{520} = 3.9 \times 1.015 = 3.95$$

Donde t = °F

Este factor lo multiplicamos por 0.361 que es el dato en tablas para la tubería de 1/8 (6.74 mm.) para obtener así, la caída de presión, que tendremos del gas en la tubería.

$$3.95 \times 0.361 = 1.429 \frac{\text{lb}}{\text{IN}^2} = 0.10 \text{ Kg/cm}^2$$

Y ésta, será la caída de presión en 100 ft (30.48 m.) de longitud de tubería. Y que viene siendo el 9.7% del total de la presión absoluta.

Por lo que para una longitud de tubería de 3.048 m. la caída de presión es sólo de 0.97%

Datos técnicos de las tuberías de 1/8, cédula 40.

Grosor de Pared: 0.068 pulg. (1.71 mm)
 Diámetro interno: 0.269 pulg. (6.74 mm)

4-4 a CALCULO DEL DISPOSITIVO MEZCLADOR

En los cálculos que se realizaron en el capítulo anterior, se llegó a la conclusión de que para un gasto de 92.62 l/hora, se requería un volumen mínimo de 2.570 cm³ ó 2.57 Dm³, ahora para un gasto de 182.7 l/hora se requiere de un volumen mínimo de:

$$\begin{array}{rcl}
 4-4- a-1 & 92.62 \text{ l/hora} & - & 2.57 \text{ Dm}^3 \\
 & 182.7 \text{ l/hora} & - & X \\
 & X = \frac{182.7 \times 2.57}{92.62} & = & 5.07 \text{ Dm}^3
 \end{array}$$

Por lo que el aparato simulador, quedará de la siguiente forma: (Ver Fig. 4-4)

4-5 FUNCIONAMIENTO DEL APARATO SIMULADOR DE ATMOSFERAS

En un forma teórica, se tratará de describir el funcionamiento del aparato simulador, para lo cual se mencionarán las tuberías que tiene el aparato - por líneas.

De la primera parte, de los cilindros que contienen el gas como anteriormente se ha mencionado, cada uno de los cilindros tiene una válvula reguladora de presión, la cual tiene en la parte superior dos manómetros, uno con un intervalo de 0-28 Kg/cm² y que es el manómetro de alta y el otro de 0-4 Kg/cm² que es de baja presión.

Cuando se abre la válvula del cilindro, se debe de tener cuidado de que la válvula reguladora esté cerrada, este tipo de válvula reguladora contiene un sistema que se mueve con un dispositivo en forma de tornillo, si éste entra, la válvula se abre, por lo que, para cerrarla hay que sacar el tornillo.

Una vez cerrada la válvula reguladora, se abre la válvula del cilindro, el manómetro de alta se mueve y marca la presión del gas dentro del cilindro.

Ahora con el tornillo de regulación, lo vamos metiendo lentamente a medida - que se mueve el manómetro de baja, también se mueve hasta la posición que ne cesitamos.

La salida de la válvula esta conectada a la tubería, que lleva el gas hasta - el dispositivo mezclador

LINEA No. 1

Esta línea se inicia en el cilindro de Nitrógeno y termina en la base del dis positivo mezclador.

La línea está compuesta por tubería de 1/8, cédula 40, una válvula reguladora, un flujómetro, un manómetro y una válvula de paso.

USO:

El nitrógeno en forma molecular, servirá para sacar el aire que pueda tener el aparato al inicio del tratamiento, también servirá para formar parte de algún tipo de atmósfera que se desee simular.

Del manómetro a utilizar en esta línea puede ser del tipo mecánico con un inter valo de 0-2 Kg/cm² o en su lugar también puede utilizarse, uno de tubo de vidrio con carga de mercurio previamente calibrado.

Se puede dejar como opción la instalación de una torre, para quitar la humedad del gas, y la cual puede ser construida con un tubo de vidrio con dos salien-- tes en una de éstas, será la entrada del gas y por la otra la salida, en su in terior del tubo debe de contener algún producto químico que absorba el agua, - para así obtener un gas seco.

LINEA No. 2

Esta línea se inicia en el cilindro que contiene el CO y termina en la base -- del dispositivo mezclador.

La línea está compuesta por tubo de 1/8, cédula 40 reguladora, un flujómetro, un manómetro y una válvula de paso.

USO:

El CO se utilizará para formar diferentes tipos de atmósferas ya sea mezclado este gas con CO_2 y con CO_2 y N_2

El manómetro que se utilizará deberá de tener características muy similares a los de la Línea No. 1.

LINEA No. 3

Esta línea se inicia en el cilindro que contiene CO_2 y termina en la base del dispositivo de mezclado.

La línea está compuesta por tubo de 1/8, cédula 40, una válvula reguladora, un flujómetro, un manómetro y una válvula de paso.

USO:

Se utilizará para formar diferentes tipos de atmósferas mezclando éste gas con CO y N_2 .

Debido a la pequeña cantidad que se maneja de CO_2 , se recomienda usar un flujómetro con intervalo menor al que se utiliza para el nitrógeno y monóxido de carbono; así mismo para registrar la presión, será necesario utilizar un manómetro de tubo de vidrio inclinado con carga de alcohol (o cualquier otro líquido que sirva para el fin deseado), este tipo de manómetros es el indicado para presiones pequeñas y nos dá una lectura precisa.

También se deja opcional el uso de la torre deshidratadora.

LINEA No. 4

Esta línea se inicia en el cilindro que contiene metano CH_4 y termina a la entrada del horno de tratamiento.

La línea está compuesta por tubo de 1/8, cédula 40, una válvula reguladora, un flujómetro, un manómetro y una válvula de paso.

USO:

Se utilizará para formar una serie de atmósferas carburantes mezclando éste --

con CO y CO_2 a la entrada del horno de pruebas y en algunos casos se le combinará también con amoníaco NH_3 para formar una atmósfera carbonitrurante.

LINEA No. 5

Esta línea se inicia en el cilindro que contiene amoníaco NH_3 y termina en la entrada del horno de pruebas.

La línea está compuesta por tubo de 1/8, cédula 40, una válvula reguladora, un flujómetro, un manómetro y una válvula de paso.

USO:

El amoníaco se utiliza para formar ciertas atmósferas que junto con gases - como el CO_2 -CO y CH_4 forman una serie de atmósferas carbonitrurantes o nitrocarburentes. Se deja opcional el uso de la torre deshidratadora como parte necesaria en la línea.

DISPOSITIVO DE MEZCLADO.

Consiste en un tubo de vidrio con dos tapas de acero (Ver Fig. 4-2), la tapa inferior con caja para alojar el tubo, en el fondo de la caja se coloca una junta de neopreno o teflón, la tapa tiene dos entradas, en una se conecta la tubería que trae nitrógeno y en la otra se coloca el dispositivo de inyección para el CO y CO_2 .

La tapa superior, contiene una caja similar a la de abajo, ésta contiene sólo una salida, que servirá para conectar la tubería donde pasará el gas ya mezclado, de tapa a tapa se colocan dos tensores, los cuales están hechos de material delgado de acero con las puntas encordadas, en las puntas se colocan tuercas o tuercas mariposas y servirán para sujetar todo el cuerpo del dispositivo mezclador.

Se puede utilizar como empaque para aumentar la velocidad de mezclado canicas de vidrio o cerámica.

LINEA No. 6

Esta línea se inicia en la salida del dispositivo mezclador y termina en la

entrada de la válvula de 3 vías.

La línea está compuesta por tubería de 1/8, cédula 40, un flujómetro y una válvula de paso y una válvula de 3 vías.

USO.- La mezcla de gases ya preparada pasará por esta tubería, la cual cuenta con una conexión de salida para la toma de muestras, controlada por una válvula de paso y un flujómetro para saber la cantidad de gasto que pasa -- por la misma, el gas sigue su camino hasta la válvula de 3 vías.

Válvula de 3 vías, este tipo de válvula tiene tres entradas y tres posiciones, (cerrada, abierta con flujo hacia un lado y abierta con flujo en línea).

LINEA No. 7

Esta línea se inicia en la conexión de lado de la válvula de 3 vías y termina en el quemador de gas No. 1.

Esta línea está constituida por tubo de 1/8, cédula 40, y desemboca a un quemador tipo mechero de gas propano.

USO.- La mezcla de gas que contenga CO y CO₂ deberán de pasarse sobre esta línea, para que el quemador combustione al CO, esto mientras se calibra la mezcla de gases que forman la atmósfera y mientras esté preparado el horno de pruebas a la temperatura necesaria para poder recibir el gas sin peligro.

LINEA No. 8

Esta se inicia a la salida en línea de la válvula de 3 vías y termina en la entrada del horno de pruebas.

Esta línea está constituida por tubo de 1/8, cédula 40.

USO.- Esta línea servirá para llevar el gas ya preparado hacia el horno de pruebas. (Ver Fig. 4-2a)

HORNO DE PRUEBAS

Se utiliza un horno del tipo mufla calentado por resistencias eléctricas y con un control de temperaturas confiable, al horno se le tendrá que hacer modificaciones en su interior, en la cámara y en la puerta.

Las modificaciones consisten en colocar en la parte del fondo de la cámara 3 entradas para colocar las tuberías de las líneas 4, 5 y 8, con lo que respecta a la cámara se puede forrar con refractario o mortero, la puerta se tendrá que modificar a forma de cuando se cierre se logre evitar lo más posible la salida de gases y también se le tendrá que adaptar un quemador de gas propano, que abarque la flama un poco más de lo que es el largo de la puerta. (Ver Fig. 4-3)

USO.- En este horno se realizarán diferentes tipos de tratamiento con atmósferas preparadas, previamente simulando la atmósfera que se utiliza industrialmente.

Un aparato medidor de punto de rocío, podrá ser acoplado por medio de una toma que puede ser de tubo y servirá para registrar la cantidad de agua que se forma por algunas reacciones en ciertos tipos de atmósferas.

OPERACION DEL APARATO

Una vez descrito las partes del aparato y su funcionamiento, se tratará - de dar un seguimiento de cómo se podrá utilizar el aparato, haciendo la - consideración teórica, puesto que las primeras pruebas, determinarán el - procedimiento real a seguir.

Paso No. 1.- Se tendrá que determinar el tipo de tratamiento que se desea realizar y la clase de atmósfera que se requiere simular, de acuerdo a la clase de atmósfera que se requiere simular, siguiendo a la clasificación de la AGA de ésta forma sabremos los gases que se necesitan para formular la.

Paso No. 2.- Se harán los cálculos necesarios para saber los porcentajes de los gases para realizar la mezcla, por otra parte saber el material - que se desea tratar y la temperatura y el tiempo que requerirá el tratamiento.

Paso No. 3.- Se conecta el horno de pruebas para que empiece a calentarse, junto con la probeta a tratar.

Paso No. 4.- Se prende el quemador No. 1, se abre el cilindro de nitrógeno y con la válvula reguladora se hace pasar una corriente de este gas -- por la línea No. 1, se abre la llave de paso de ésta, para que entre el - gas por el dispositivo de mezclado, el gas pasará por este desalojando el posible gas o aire, el gas seguirá pasando por la línea No. 6, que lleva a la válvula de 3 vías, la cual se moverá a su segunda posición, para que el nitrógeno fluya por la línea No. 7, hacia el quemador No. 1. Dejar -- que fluya el gas por espacio de 10 minutos.

Paso No. 5.- Una vez transcurrido el tiempo, se reduce al mínimo, el flujo de gas nitrógeno, abrir el cilindro que contiene monóxido de carbono y con la válvula reguladora se hace fluir este por el dispositivo mezclador hasta el quemador No. 1. Se calibra el flujo deseado por medio del flujo

metro de acuerdo a las cartas ya preparadas.

Paso No. 6.- Se abre el cilindro de dióxido de carbono y se hace pasar por la línea No. 3, para hacerlo entrar al dispositivo mezclador, se calibra - su flujo por medio de la carta el porcentaje necesario, si la atmósfera so lo contiene como componente el CO y CO₂, se cerrará la válvula reguladora del nitrógeno y de preferencia la válvula principal del cilindro; si el ca so fuera simular una atmósfera que contenga CO, CO₂ y N₂, entonces se ten drá que regular el flujo necesario de acuerdo a cartas.

Paso No. 7.- Una vez hechos los ajustes necesarios, se procederá a tomar - la primera muestra de gas utilizando para esto la toma de muestras que es tá en la línea No. 6 y se analiza, se tomarán muestras para su análisis ca da 20 minutos.

Paso No. 8.- Si solo si la temperatura del horno de pruebas está a una tem peratura mayor a los 700°C, se procederá a desviar el gas por medio de la válvula de 3 vías, moviéndola a su tercera posición, para esto, deberá de prenderse el quemador de la puerta primero, se comienza a tomar el tiempo del tratamiento con la atmósfera.

Paso No. 9.- Una vez transcurrido el tiempo del tratamiento, se procede a - desviar el gas hacia el quemador No. 1, moviendo la válvula de 3 vías, se espera unos minutos y se abre con cuidado el horno para retirar la probeta o probetas.

APAGADO DEL APARATO SIMULADOR

Una vez concluida nuestra práctica con el aparato simulador, daremos los - pasos necesarios para el apagado.

Paso No. 1. Una vez que se saque la última probeta del horno se procederá a apagar el horno desconectando las resistencias eléctricas, dejando el - quemador de la puerta encendido.

Nota.- (En caso de que se utilice el metano o amoniaco, será necesario cerrar las válvulas de los cilindros y las válvulas de paso, respectivamente de las líneas No.4 y 5 antes de apagar el horno).

Paso No. 2.- Como antes de sacar la probeta se ha desviado el gas al quemador No. 1, se procede a cerrar la válvula principal del cilindro de CO y - después la válvula de paso de la línea No. 2, se cierra la válvula reguladora.

Paso No. 3.- Se procede a cerrar la válvula principal de CO₂ y después la - válvula de paso y regulador.

Paso No. 4.- Se hace pasar una corriente de nitrógeno para limpiar el dispositivo mezclador, se mueve la válvula de 3 vías, para que el nitrógeno - se dirija hacia el horno dando unos minutos, después se cierra la válvula del cilindro de N₂, y la válvula reguladora, se cierra la válvula de 3 - - vías colocándola en su primera posición y se apagan los quemadores.

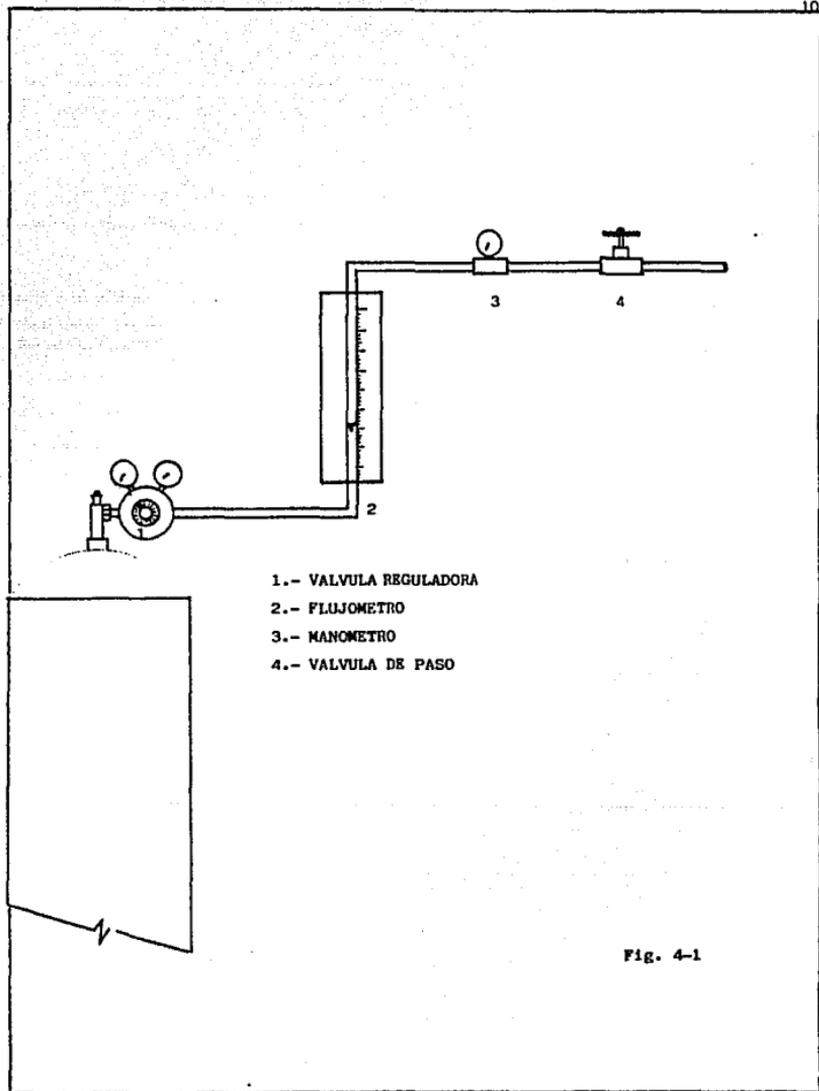
EQUIPO DE SEGURIDAD

Se recomienda que el aparato sea colocado en un lugar que tenga una buena ventilación o dentro de una campana con extracciones de aire forzada.

Es importante también utilizar un detector de CO que comercialmente se puede conseguir.

MANTENIMIENTO DEL APARATO

Como todo equipo, éste deberá de contar con un mantenimiento preventivo, - de acuerdo al uso que se le dé y un mantenimiento general a fin de conservar en óptimas condiciones, para su buen funcionamiento.



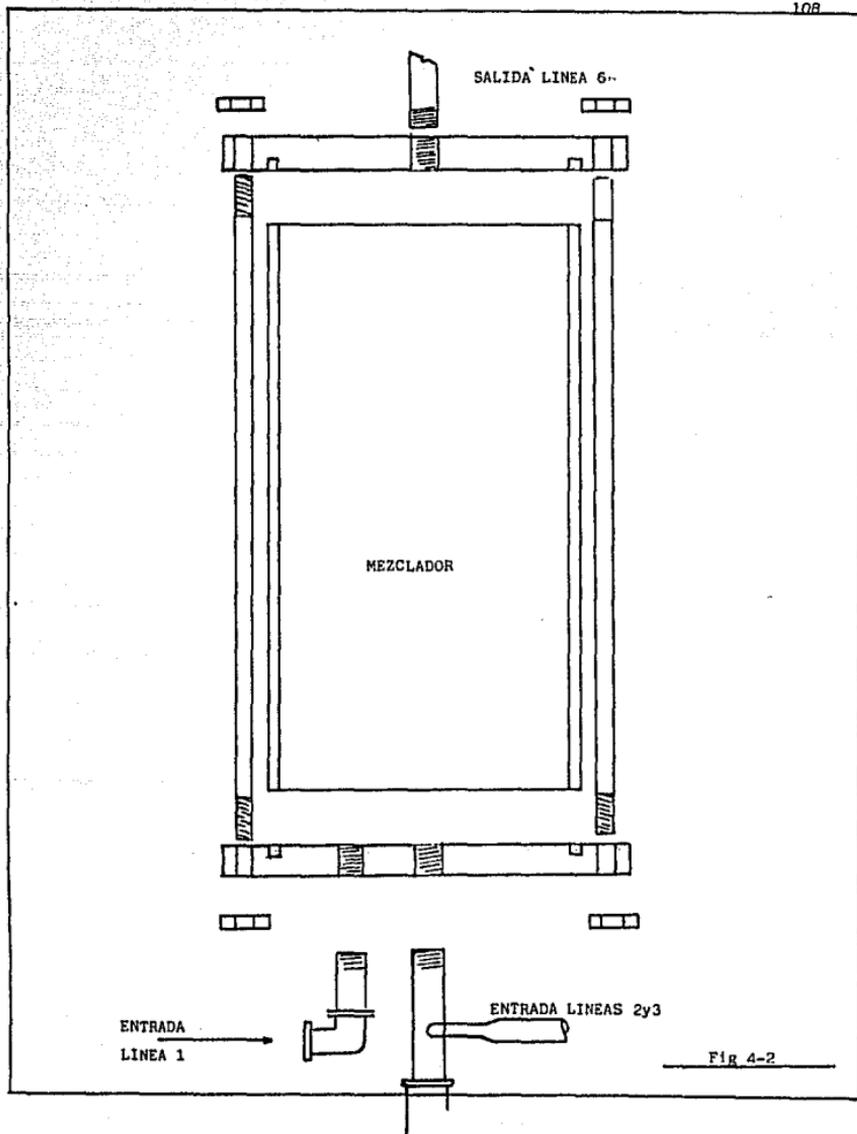


Fig 4-2

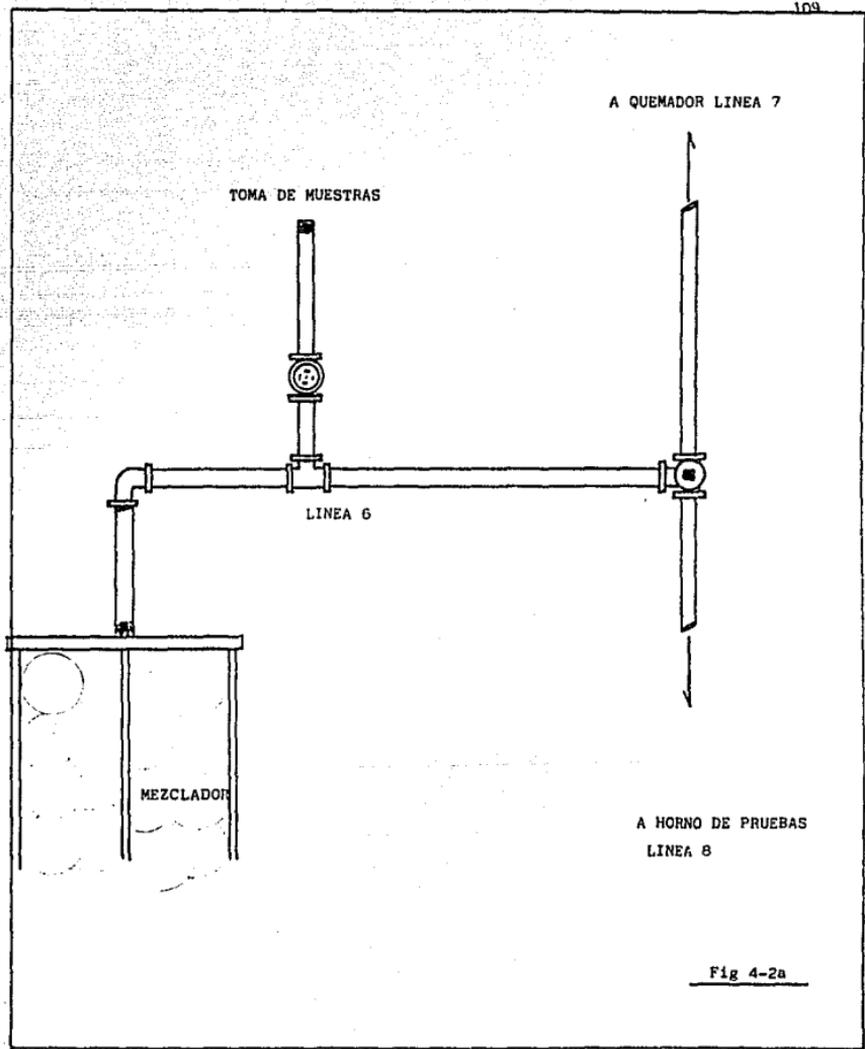
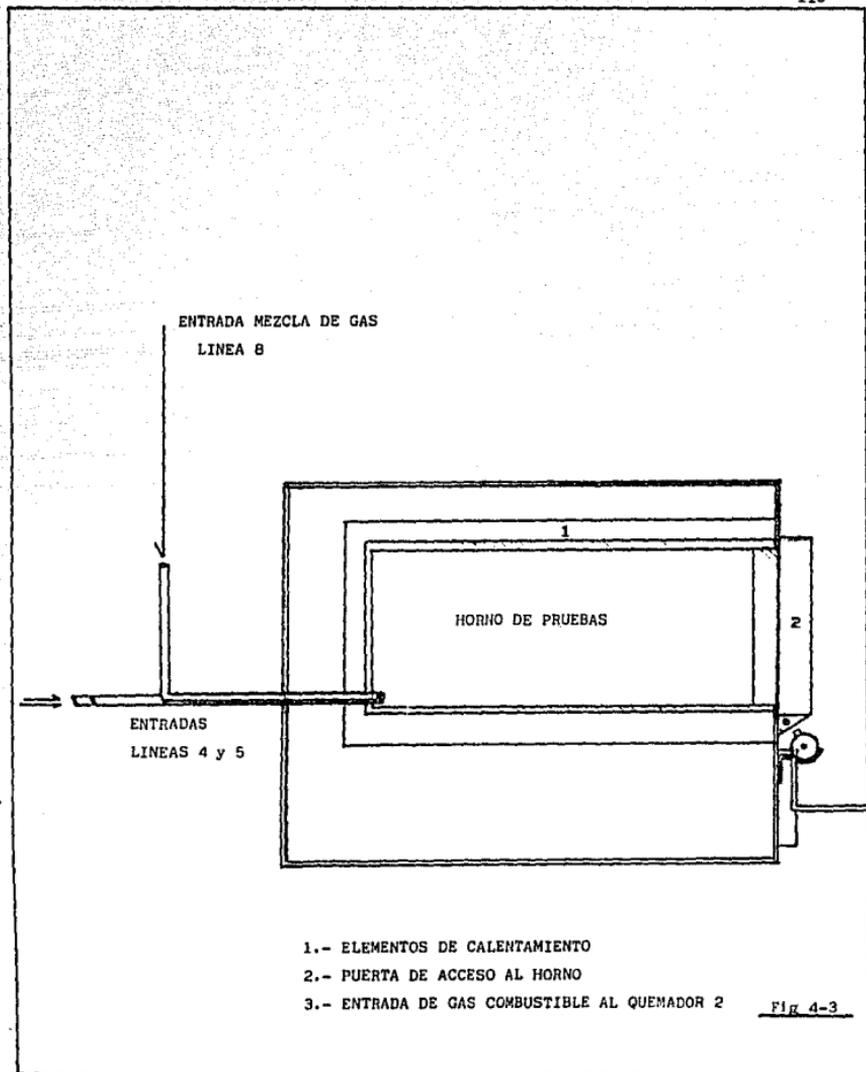


Fig 4-2a



ESQUEMA GENERAL DEL APARATO SIMULADOR DE ATMOSFERAS

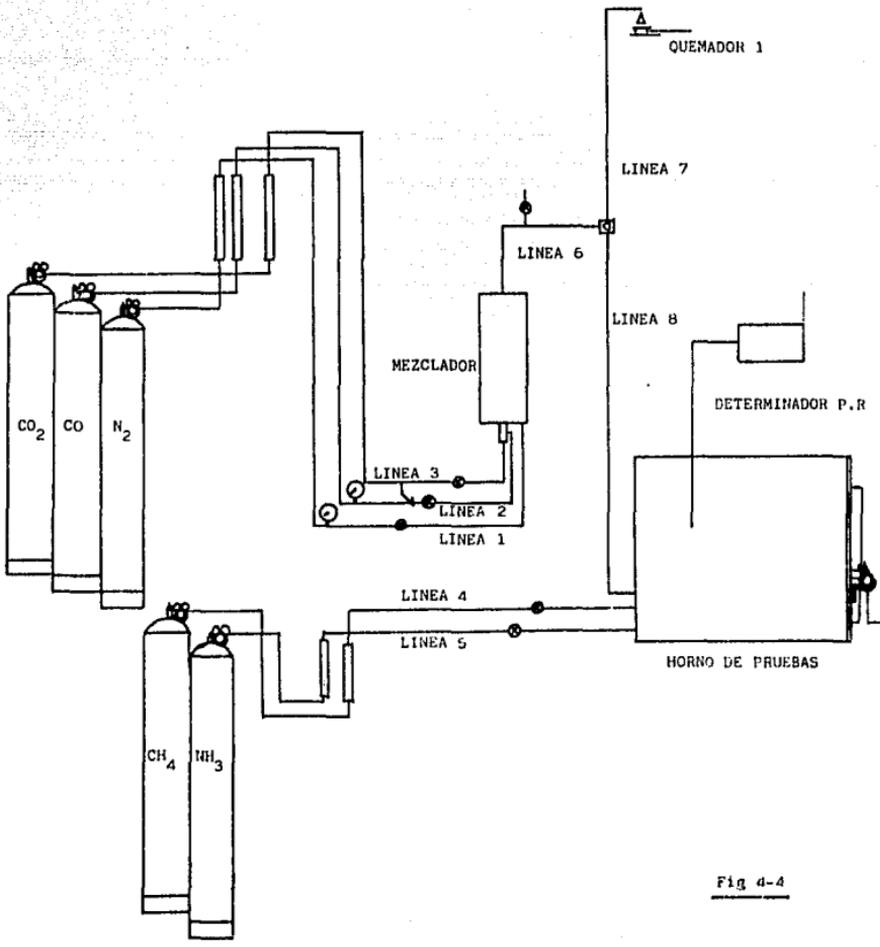


Fig 4-4

CONCLUSIONES

Se analizó y se estableció, todos y cada uno de los aspectos termodinámicos que están involucrados en el cálculo del aparato simulador, tales -- como el evitar la oxidación, mantener sin alteración a los aleantes más afines al oxígeno que la base misma del metal, y el aumento en proporción de aleantes en la superficie del metal, definiendo las proporciones de -- mezcla gaseosa y como una forma objetiva, las podemos llevar a reproducir a nivel laboratorio.

Se demuestra que al conjuntar y relacionar las consideraciones termodinámicas éstas son representativas y congruentes al proceso industrial, y -- que por lo tanto puede llevarse a niveles de laboratorio en las mismas -- condiciones, con solo ubicar el proceso.

El cálculo se desarrolla con la definición de las partes que integran el aparato y su funcionamiento, considerando similitudes con el equipo industrial a fin de obtener operaciones equiparables al proceso.

Al determinar las dimensiones de las partes que integran al aparato simulador, se buscó una versatilidad en el manejo y operación del mismo a forma de poder reproducir y manejar diferentes tipos de atmósferas y que estas conserven su representatividad con las de uso industrial.

De esta manera se sientan las bases para realizar posteriormente un proyecto de construcción e instalación seguido por el trabajo de arranque y de operación del aparato simulador. Culminando así con la idea original de contar con un equipo en donde se pueden estudiar y reproducir, las situaciones y fenómenos que involucran al proceso, a nivel laboratorio.

Las ventajas de contar con un equipo de esta naturaleza demuestra que es una herramienta de desarrollo capaz de auxiliar a la industria, aumentando su productividad y elevando la calidad de piezas tratadas en el proceso, teniendo un considerable ahorro de tiempo y dinero.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- American Society Formetal ASF Ohio 1979 Metals Hanbook Vol 2
8th Edition.
- 2.- ASTM Part 10 1977 Tratamientos Térmicos con Atmósfe-
ras Controladas.
- 3.- Ing. Mario Javier Ruiz Tesis Control Metalúrgico de la Ce-
mentación con gases 1967, UNAM Fa-
cultad de Química.
- 4.- Crane, Crane Co. 13th. Edition Flow of Fluids Through Valves - -
1973. Fitting and Pipes.
- 5.- David M. Himmel Blau Prentice Basic Principles and Calculations
Hall Inc. 2th. Edition 1967. in Chemical Engineering.
- 6.- Seybold and Burke Limusa - - Técnicas de Metalurgia Experimenta-
Wiley 1969. les.
- 7.- Universidad Sheffield Ingla- Prácticas de Tratamientos Térmicos
terra. Dr. N. Birks 1976
- 8.- Bruce Chalmers John Wiley & Physical Metallurgy
Son 2da. Imp. 1962
- 9.- Daniel Alberty 2 Edition - - Físico Química
1976 CECSA
- 10.- Sindney H. Avner Metalurgia Física.
Mc Graw Hill 2 Ed. 1966
- 11.- Peter Ebner Instalaciones Modernas bajo gas -
Ebner Ind. 1978 protector.

- 12.- Yuim Lajtin Editorial MIR
Moscú 1977
Metalografía y Tratamientos Térmicos de los Metales.
- 13.- B.S. Bokshtein Editorial
MIR Moscú 1978
Difusión en Metales.
- 14.- N. Birks Dep Metallurey
Universaidad Sheffield
Inglaterra
A Thermodynamic Background to Atmosphere Control for the Heat Treatments of Metals.
- 15.- L H Fairbank and LGW Palethope
Iron Steel Special, Report 95, (1966)
Controlled Atmospheres for the heat treatment of metals.
- 16.- C. Dawes and D.F. Tranter
The Lucas Electrical Co. LTD Heat Metals 1974, 4 P 121-130 Treatment of Production Gas Carburizing Control.
- 17.- F J Harvey
Metallurgical Transactions A. Vol. 9a. Nov 1978-1507 Thermodynamic Aspects of Gas-Metal Heat Treating reactions.
- 18.- Información verbal, proporcionada por el Ing. J. R. Reider, representante de FIASA.

A P E N D I C E I

LA IMPORTANCIA DE LA COMPOSICION DEL ACERO

El potencial efectivo de carburación es modificado por los elementos aleantes del acero, esto debido a que algunos aleantes tienden a formar carburos más estables que los del hierro, incrementando el potencial como es el caso del cromo, manganeso y molibdeno, y otros elementos decrecen este potencial como son el silicio y níquel.

Esta situación que puede ser estudiada experimentalmente buscando un factor, el cual puede ser relacionado a la composición del gas para realizar el carburado.

Este factor puede ser evaluado experimentalmente carburando con una atmósfera que contenga 0.25% CO_2 a diferentes materiales tales como AISI-SAE -- 1020, 4320 y 8620, observándose los siguientes resultados después de cuatro horas de tratamiento, (Ver Fig. F-1), la composición del 1020 en la superficie es de 0.68% y para el 8620 es de 0.74% y para el 4320 es de 0.60% esta diferencia en el contenido de carbón sólo puede ser debido a la acción de los aleantes.

Cuando se habló de descarburizado, se concluyó que para determinar el potencial efectivo, era necesario conocer el coeficiente de la actividad f_c referido en la ecuación.

$$2-47 \quad \text{o/w } C = \frac{1}{K f_c} \quad \frac{PCO^2}{PCO_2}$$

De donde:

$$2-47-A \quad \log K = - \frac{8918}{T} + 9.1148 \quad (17)$$

Wada, Elliott y Chipman, proponen la siguiente ecuación y la table G-1, para un sistema ternario.

$$A-1 \quad \log f_c = \frac{2300}{T} - 2.24 + A \text{ o/w C} + B \text{ o/w M}$$

Donde M = al aleante

T = Temperatura ° K

Si se combina estas tres ecuaciones se puede encontrar la relación entre el CO y CO₂ y así obtener la atmósfera efectiva para realizar el carburado.

Por ejemplo para una aleación Fe-Cr-C, tenemos que:

$$A-1a. \quad \log \frac{P_{CO}^2}{P_{CO_2}} = \log \text{ o/w C} + \frac{179}{T} \text{ o/w C} \left(\frac{102}{T} - 0.033 \right) \text{ o/w Cr} \\ - \frac{6618}{T} + 6.875$$

Y esta ecuación puede ser utilizada para aceros donde la composición principal se refiere al cromo principalmente y donde los demás constituyentes tienen una concentración pequeña.

Por otra parte Natenson y Kassner, proponen una ecuación más representativa al considerar un sistema cuaternario, como Fe-Cr-Ni-C, para un intervalo de temperatura de 725-1060 ° C

$$A-2 \quad \log f_c = \left(0.228 - \frac{130}{T} \right) \text{ o/w C} - \left(0.009 - \frac{31.4}{T} \right) \text{ o/w Ni} + \\ 0.108 - \frac{175}{T} \text{ o/w Cr} - 2.12 + \frac{2215}{T}$$

Si se combina las ecuaciones A-2, 2-47 y 2-47-A, se tiene:

$$A-2a \quad = \log \frac{P_{CO}^2}{P_{CO_2}} = \log \text{ o/w C} + \left(0.228 - \frac{130}{T} \right) \text{ o/w} - \left(0.009 - \frac{31.4}{T} \right) \\ \text{ o/w Ni} + \left(0.108 - \frac{175}{T} \right) \text{ o/w Cr} - \frac{6703}{T} - 6.995$$

La cual puede ser usada para calcular el contenido de CO y CO₂ en atmósferas endotérmicas y exotérmicas principalmente para mantener el contenido de carbón en la serie 300 de los inoxidables, y en donde la concentración de otros aleantes es pequeña.

El coeficiente de actividad para otros sistemas cuaternarios Fe-M-N-C o para otros de mayor orden, no han sido desarrollados en general, sin embargo, el coeficiente puede ser estimado de los datos de la forma ternaria combinada con el coeficiente de interacción de la energía libre. Wada, et al, realiza un planteamiento muy interesante al respecto, Ver referencia (17).

Por otra parte, podemos encontrar los factores de correlación necesaria para corregir las condiciones en producción, siendo los principales problemas:

- 1.- Condiciones en equilibrio.
- 2.- La composición del metal a tratar.

Para compensar las condiciones en no equilibrio, en la Fig. F-2, representa una relación entre el % de carbón en la superficie, el % de CO_2 y el tiempo en horas del tratamiento. Para aceros no aleados, en carburizado a $925^\circ C$, esta relación muestra el grado de compensación en la atmósfera para corregir la condición en no equilibrio para tratamientos de menos de 20 horas.

Para compensar la composición del material, en la Figura F-2, sólo se refiere a aceros no aleados, para poderlo utilizar con otros materiales, se establece la siguiente fórmula para designar el nivel de carbón.

$$A-15 \log (\text{factor de corrección}) = (\% Si \times 0.055) + (\% Ni \times 0.014) \\ - (\% Mn \times 0.013) - (\% Cr \times 0.040) - \% Mo \times 0.013 \quad (16)$$

Podemos seguir una secuencia como lo muestra la Fig. F-3, utilizando un ejemplo, para entender cómo se encuentra el potencial de carburación y los parámetros de control de la atmósfera.

Ejemplo: Se desea realizar sobre un material 4815 con 3% Ni, una capa -

carburada de 0.5 mm. (0.020) in, con un mínimo de dureza superficial de 800 HV. Siguiendo la secuencia al paso No. 1, es establecer el carbón requerido en la superficie de la Fig. F-4, indica que para un material 4815, se requiere un nivel de carbón de 0.80 ± 0.10

Paso No. 2, establecer el tiempo de tratamiento, utilizando una fórmula

Profundidad de capa carburada en (milesimas de pulgada) = $K_1 \sqrt{t}$ (horas)
donde K = constante de difusión, para el ejemplo K = 14

$$A-16 \quad \frac{20}{\sqrt{t}} = 14 \sqrt{t}$$

$$\sqrt{t} = \frac{20}{14} = 1.42$$

$$t = (1.42)^2 = 2.01 \text{ horas}$$

Por lo que el tiempo necesario para dar una capa carburada de 0.5 mm, es de 2 horas.

Paso No. 3.- Corrección del nivel de carbón designado.

Análisis del material	log (factor de corrección) $\times 10^{-3}$
0.19.% Si	+ 55 x 0.19 = + 10.5
3.20.% Ni	+ 14 x 3.20 = + 44.8
0.48.% Mn	- 13 x 0.48 = - 6.2
0.04% Cr	- 40 x 0.04 = - 1.9
0.09.% Mo	- 13 x 0.09 = - 1.2
	+ 46.1
log (factor de corrección)	= 0.046
factor de corrección	= 1.11
nivelación de carbón corregido	= 1.11 x 0.80 = 0.89%

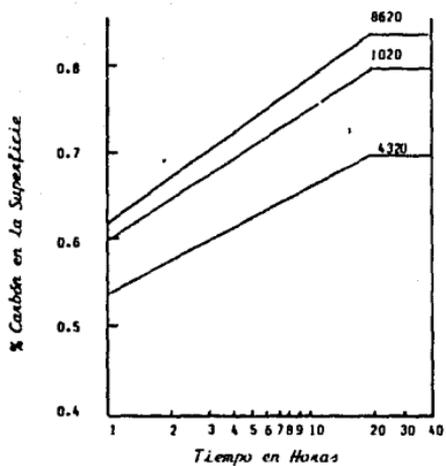
Como se observa, los aleantes reducen el potencial efectivo de carburación y en forma de desarrollar un nivel de carbón de 0.8% es necesario controlar la atmósfera a que produzca un nivel de carbón de 0.89%, rela

tivo a un acero no aleado.

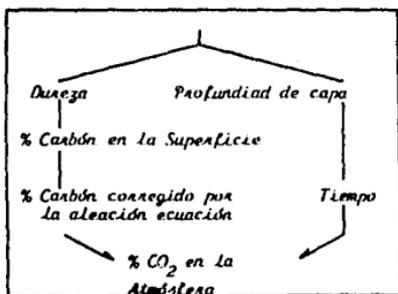
Paso No. 4.- Refiriéndonos a la Figura F-2, para un nivel de carbón de 0.89 y con 2 horas de tratamiento, es necesario utilizar un contenido de CO_2 de 0.16% o un voltaje de la probeta de oxígeno de 1.15 volts, la atmósfera así controlada tiene un potencial de carburización en equilibrio de 1.10%

Por lo que estos cálculos nos muestran que, compensado ambos, las condiciones en no equilibrio y los efectos de los alenates para un material 4815, es necesario emplear un potencial de carburización de 1.10% para poder desarrollar un nivel de carbón en la superficie de 0.8% con el tiempo de tratamiento ya previsto y dando una capa carburada de 0.5 mm (0.20) in.

La Figura F-5, nos muestra una gráfica para algunos de los más comunes materiales que se utilizan en construcción.



Especificación del Tratamiento Térmico



NO EQUILIBRIO

EQUILIBRIO

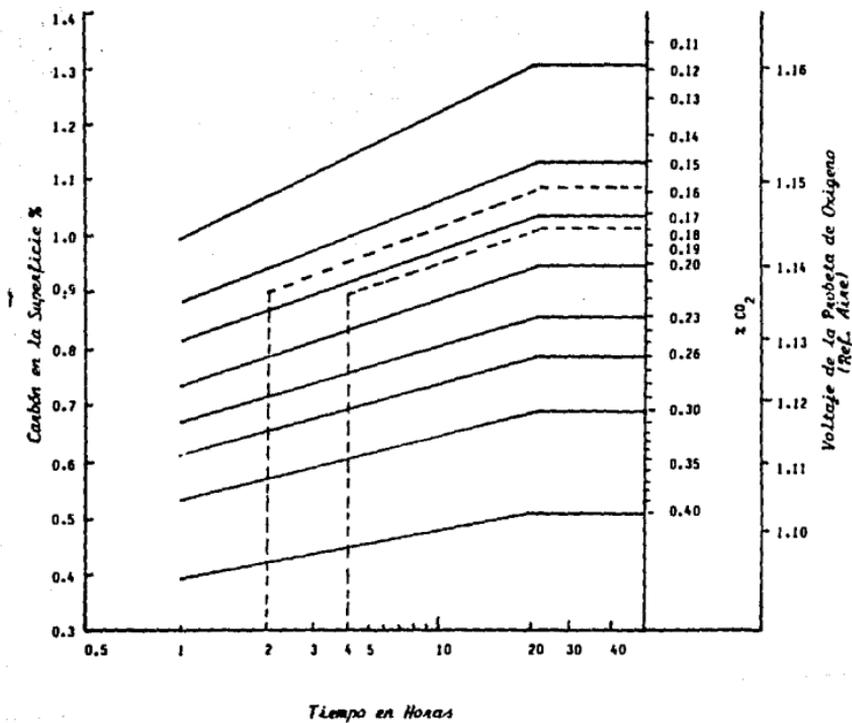
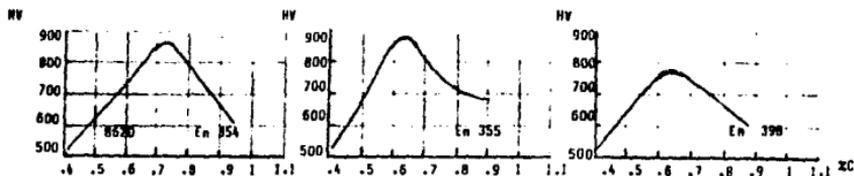
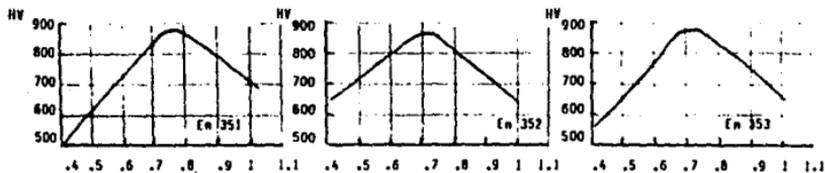
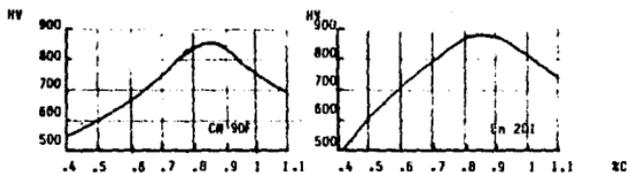
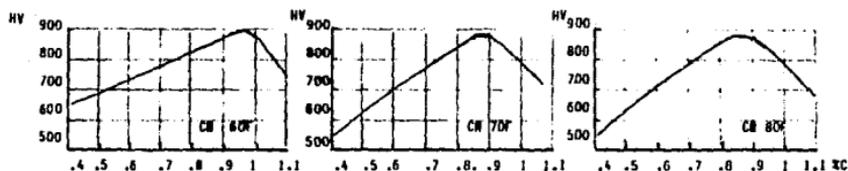
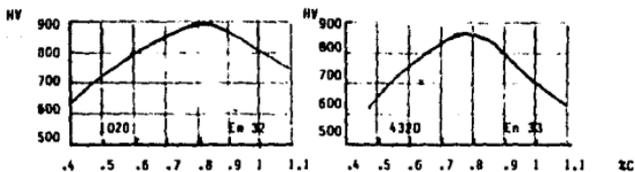


Fig. F-2

Fig. 7-4

ACERO NO ALEADO

ACERO M. BQUEL



TECNICA DE OPERACION PARA MAXIMA PRODUCTIVIDAD.- Habiendo definido los parámetros de control de la atmósfera óptima y desarrollado los valores del nivel de carbón en la superficie para obtener la dureza deseada, la próxima consideración es desarrollar una técnica operativa, capaz de producir la profundidad de capa carburada en el menor tiempo de tratamiento posible, como se sabe, la velocidad de difusión para el carbón varía directamente con la concentración de carbón en la superficie, sin embargo; la coincidencia de la dureza requerida en la superficie, impone un valor máximo al contenido de carbón en la misma, por lo que, se ha desarrollado una técnica, la cual es llevada en dos pasos, carburado/difusión. Este tratamiento tiene como principio de operación el excederse de los requerimientos óptimos de carbón en la superficie durante el ciclo de carburizado, siguiendo por un ciclo de difusión en el nivel de potencial de carbón requerido para la óptima dureza superficial, la Fig. F-6, nos muestra una comparación de los perfiles de carbón y la técnica carburado/difusión.

Como se puede observar en el perfil de 2 horas a 0.12% CO_2 , el perfil de carburado tiene una pendiente más pronunciada y el valor del % de carbón en la superficie está en el óptimo, bajando éste a medida que se profundiza; llegando a tener un valor de 0.45% C, a una profundidad de 0.020 in (0.5mm). En cambio utilizando la técnica carburado/difusión, el perfil para 2 horas a 0.12% CO_2 y 1 hora a 0.18% CO_2 , la pendiente no es tan pronunciada y el valor de carbón en la superficie está en 0.94% C, a las primeras 10 milésimas de profundidad; tenemos un contenido de carbón de 0.88% C y a 0.020 in, un contenido de carbón de 0.6%, como se puede ver en esta técnica se puede trabajar un poco, modificando el perfil hasta valores muy consistentes en la composición de la profundidad de capa carburada.

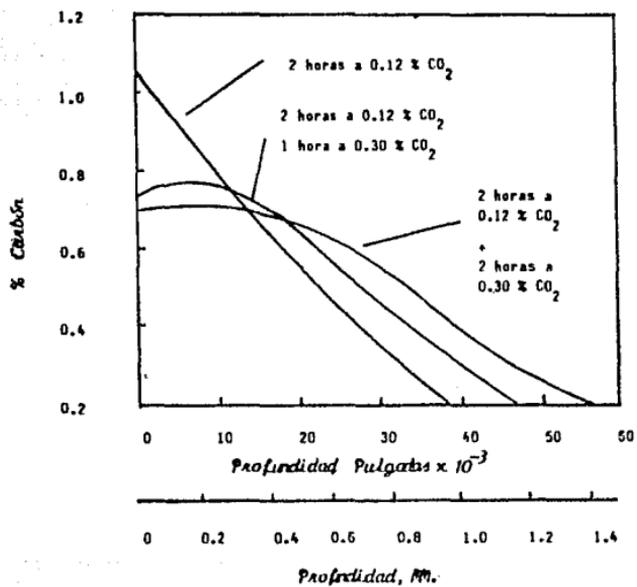


Fig. F-6

PROFUNDIDADES DE CEMENTACION EN MM. PARA VARIOS TIEMPOS Y TEMPERATURAS (3)

tiempo hrs.	temperatura ° C										
	732°	760°	788°	816°	843°	871°	900°	927°	954°	982°	1010°
1	0.152	0.203	0.254	0.305	0.261	0.457	0.533	0.635	0.735	0.864	1.016
2	0.229	0.279	0.356	0.432	0.533	0.635	0.752	0.683	1.041	1.219	1.424
3	0.279	0.356	0.432	0.533	0.645	0.787	0.940	1.032	1.295	1.499	1.753
4	0.330	0.406	0.506	0.610	0.737	0.889	1.067	1.270	1.499	1.753	2.007
5	0.355	0.457	0.559	0.666	0.828	1.016	1.134	1.424	1.676	1.956	2.261
6	0.361	0.483	0.610	0.767	0.914	1.092	1.321	1.594	1.828	2.134	2.464
7	0.432	0.533	0.660	0.813	0.991	1.194	1.424	1.576	1.991	2.311	2.667
8	0.457	0.559	0.711	0.864	1.041	1.270	1.524	1.803	2.109	2.464	2.848
9	0.483	0.610	0.737	0.914	1.118	1.346	1.600	1.905	2.235	2.616	3.023
10	0.508	0.635	0.767	0.965	1.168	1.424	1.702	2.006	2.362	2.743	3.200
11	0.533	0.660	0.838	1.016	1.219	1.499	1.778	2.108	2.464	2.670	3.353
12	0.559	0.686	0.867	1.067	1.295	1.594	1.854	2.210	3.023	2.505	3.565

Existe una fórmula para determinar espesor de cementación, que es:

$$E = K \sqrt{t}$$

Siendo E = Espesor de cementación.

K = Una constante que varía tanto con la temperatura como con la composición del acero.

t = Tiempo

T A B L A (G-1) (17)

SISTEMA	A*	B*	INTERVALO DE LA COMPOSICIÓN DE CARBÓN (% PESO)	INTERVALO DE LA COMPOSICIÓN DE LA ALEACIÓN (% PESO)	INTERVALO DE LA TEMPERATU RA (K)
FE-NI-C	183/T	$\frac{19.2}{T} + 2.9 \times 10^{-3}$	T	0 A 25	1073 - 1420
FE-SI-C	(179+8.9 PCTSi)T	$\frac{62.5}{T} + 0.041$	0 A 1	0 A 3	1121 - 1420
FE-MN-C	181/T	-21.8/T	0 A 1	0 A 15	1121 - 1420
FE-CR-C	179/T	$-\left(\frac{108}{T} - 0.033\right)$	0 A 1.2	0 A 12	1121 - 1473
FE-MO-C	182/T	$-\left(\frac{56}{T} - 0.015\right)$	0 A 1.2	0 A 4	1121 - 1473
FE-V-C	179/T	-117/T	0 A 1.2	0 A 2	1121 - 1473

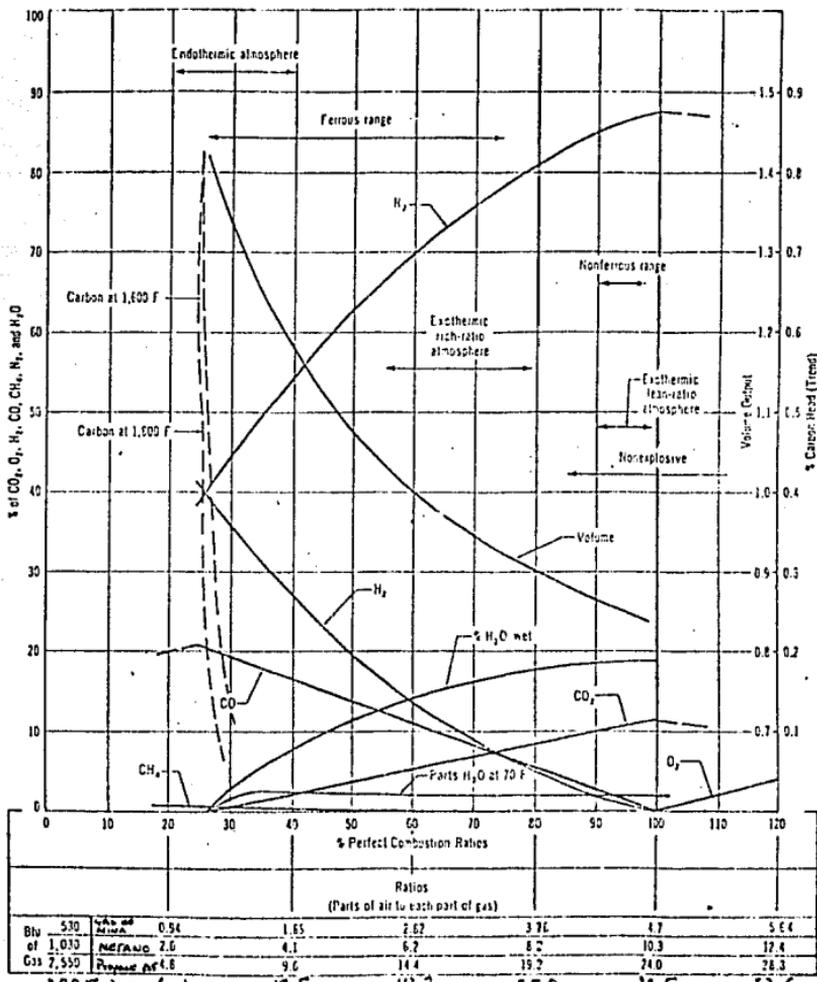
RELACION ENTRE LA PRESION DE H₂O Y EL PUNTO DE ROCIO

P (H ₂ O)	LOG P (H ₂ O) 2	P.R. ° K	P.R. ° C
1 x 10 ⁻⁶	- 6	189	-84.15
1 x 10 ⁻⁴	- 4	226	-47.15
1 x 10 ⁻³	- 3	251	-22.15
1 x 10 ⁻²	- 2	282	+ 8.85
.1	- 1	321.3	+48.15
.2	- 0.69	335	61.82
.3	- 0.52	344	70.85
.4	- 0.39	351	77.85
.5	- 0.3	355	81.85
.6	- 0.221	360.3	86.85
.7	- 0.154	364.0	90.85
.8	- 0.0969	367.4	94.25
.9	- 0.045	370	96.85
.999	- 0.0043	372.8	99.45

$$0.00268 + \frac{\text{LOG } P(\text{H}_2\text{O})}{-2135} = \frac{1}{T} \quad (1^*)$$

(1*) TOMADO DE LA ECUACION DE CLAUSIUS CLOPEYRON PARA P=1 ATM.

Exothermic and Endothermic Furnace Atmospheres ¹³⁰



Exothermic and endothermic atmospheres are prepared in a gas city and which consists primarily of a refractory lined, gas-tight combustion chamber fitted with one or more burners to which a mixture of gas and air is delivered from controlling ratio gas city equipment. The generator is equipped with a water trough, which the products of combustion are discharged. The cooler removes a portion of the water produced from the reaction.

The generator produces an atmosphere either as a mixture of many elements and compounds, including hydrogen, carbon monoxide, nitrogen, carbon dioxide, and water vapor, in one or more parts of water, carbon dioxide, hydrogen sulfide, and other gases may also be present. Quantities of various gases in an atmosphere vary widely with the fuel gas used. Curves on the graph analyzed at room temperature except where noted.

Source: Electric Furnace Co.