

**ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS DE COMBUSTION
DE CARBON ANTRACITICO EN REACTOR CICLONICO.**

MAGDALENO MORALES ACOSTA

MEXICO, D. F.

1961



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 esta 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.

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS DE COMBUSTION DE
CARBON ANTRACITICO EN REACTOR CICLONICO.

TESIS

QUE PRESENTA PARA SU EXAMEN PROFESIONAL DE

INGENIERO QUIMICO

MAGDALENO MORALES ACOSTA

ANTE LA

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

INSTITUTO MEXICANO
DE INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS, A. C.

México, D. F.
1961

MI CUMPLIDO AGRADECIMIENTO AL INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS POR LAS FACILIDADES QUE ME BRINDÓ A TRAVÉS DE SU SECCIÓN DE QUÍMICA MINERAL Y METALÚRGICA, ASÍ COMO A TODO EL PERSONAL TÉCNICO Y ADMINISTRATIVO DEL INSTITUTO QUE CONTRIBUYÓ, DIRECTA O INDIRECTAMENTE, A HACER POSIBLE LA REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.

CONTENIDO.

RESÚMEN.

- I.- INTRODUCCION.
- II.- GENERALIDADES.
- III.- ANALISIS TEORICO DE INGENIERIA.
 - A.- ESTUDIO DINÁMICO DE FLUIDOS.
 - B.- TERMODINÁMICA DEL PROCESO.
 - C.- CINÉTICA.
- IV.- PARTE EXPERIMENTAL.
 - A.- EQUIPO Y MATERIALES.
 - B.- PRUEBAS DE ARRASTRE Y CALIBRACIÓN DE UN ALIMENTADOR.
 - C.- OPERATORIA.
- V.- EVALUACION DE RESULTADOS.
- VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.
- VII.- BIBLIOGRAFIA.

RESUMEN.

EL PRESENTE TRABAJO TUVO POR OBJETO ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DEL CARBÓN ANTRACÍTICO CUANDO SE SOMETE A LA COMBUSTIÓN EN UN CICLÓN TÉRMICO. ESTA INVESTIGACIÓN FORMA PARTE DE LOS TRABAJOS QUE EL INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, IMIT, REALIZA EN SU SECCIÓN DE QUÍMICA MINERAL Y METALÚRGICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE CARBONES MINERALES NO COQUIZABLES EN LA COMBUSTIÓN Y REDUCCIÓN DE MINERALES DE FIERRO.

SE PRESENTÓ EL PROBLEMA DE MANTENER UN CONTROL EFICIENTE DE LA ALIMENTACIÓN DE CARBÓN, QUE DE MANERA CONTINUA SE INTRODUJO A LA CÁMARA DE UN CICLÓN EXPERIMENTAL, PRINCIPALMENTE CUANDO SE OPERÓ CON TAMAÑOS DE PARTÍCULA DEL ORDEN DE 0.074 MM (CRIBA No. 200).

LAS CENIZAS DE LA ANTRACITA SE RECOLECTARON EN FORMA DE POLVO DEBIDO A QUE LA CANTIDAD DE CALOR PRODUCIDA FUE DE 383×10^{-6} CAL/HR M^3 (43,000 BTU/HR PIE^3), CIFRA QUE SE CONSIDERA PEQUEÑA, COMPARADA CON EL CALOR QUE DEBE LIBERARSE POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CÁMARA CUANDO SE TRATA DE MANEJAR LAS CENIZAS EN FORMA FUNDIDA.

SE HICIERON VARIAS PRUEBAS CAMBIANDO LA RELACIÓN DE AIRE A CARBÓN, AL MISMO TIEMPO QUE SE VARIARON LAS VELOCIDADES DE ENTRADA DE ESTA MEZCLA A LA CÁMARA, OBTENIÉNDOSE RESULTADOS QUE SIRVIERON DE BASE PARA LA CONTINUACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES EN ESTE CAMPO, MEDIANTE EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO CICLÓN TÉRMICO DE MAYORES DIMENSIONES (3 PIE^3 DE VOLUMEN DE CÁMARA).

I. - INTRODUCCION

DE LAS RESERVAS DE CARBÓN MINERAL QUE HASTA LA FECHA SE CONOCEN EN MÉXICO, PRÁCTICAMENTE SOLO SE EXPLOTAN LOS DEPÓSITOS DE CARBÓN SUSCEPTIBLES DE TRANSFORMARSE EN COQUE METALÚRGICO. ESTOS CARBONES SE ENCUENTRAN SITUADOS EN LA ZONA CARBONÍFERA DE COAHUILA Y CONSTITUYEN HASTA EL PRESENTE LA ÚNICA FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE COQUE PARA LA INDUSTRIA SIDERÚRGICA. EL CARBÓN NO COQUIZABLE MEXICANO, QUE SE ENCUENTRA RELATIVAMENTE CERCANO A LOS YACIMIENTOS FERRÍFEROS DE LAS ZONAS PACÍFICO NORTE Y PACÍFICO CENTRAL, PERMANECE INEXPLOTADO, DEBIDO A QUE POR CONDICIONES ECONÓMICAS Y TÉCNICAS NO PUEDE SER UTILIZADO EN LA PRODUCCIÓN DE FIERRO Y ACERO MEDIANTE PROCESOS CONVENCIONALES.

EL IMIT, DENTRO DE SUS INVESTIGACIONES DE DESARROLLO DE PROCESOS SIDERÚRGICOS DIFERENTES AL CLÁSICO DEL ALTO HORNO, TRABAJA EN LA UTILIZACIÓN DE CARBONES NO COQUIZABLES, ANTRACITAS DE SONORA Y DE OAXACA, COMO FUENTES DE CALOR Y DE REDUCCIÓN DE LOS MINERALES DE HIERRO.

COMO UN PRIMER PASO EN LAS INVESTIGACIONES SOBRE CONTROL DE ATMÓSFERA, LOS TRABAJOS SE ENCAMINARON AL ESTABLECIMIENTO DE UNA ATMÓSFERA REDUCTORA MEDIANTE LA INTRODUCCIÓN DE CARBÓN ANTRACÍTICO PULVERIZADO EN UN HORNO CICLÓNICO EXPERIMENTAL CON UN VOLUMEN DE CÁMARA DE 0.035 m^3 (1.24 pie^3).

11.- GENERALIDADES

ACTUALMENTE EXISTE UNA TENDENCIA BIEN DEFINIDA HACIA EL DESARROLLO DE NUEVAS TÉCNICAS EN EL CAMPO DE LA GASIFICACIÓN DE CARBONES MINERALES. ENTRE ELLAS PODEMOS CITAR LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN Y FLUIDIZACIÓN. A CONTINUACIÓN SE PRESENTA UN ANÁLISIS SOMERO DE LAS TÉCNICAS CONVENCIONALES Y LAS QUE SE ENCUENTRAN EN DESARROLLO.

ENTRE LOS MÉTODOS QUE REQUIEREN COMBUSTIBLE PULVERIZADO SE PUEDE CITAR, EN PRIMER LUGAR, EL HORNO DE PARRILLA POR SER EL MÁS ANTIGUO. EN ESTA TÉCNICA EL AIRE PASA AL TRAVÉS DE LOS INTERSTICIOS Y REACCIONA CON EL CARBÓN. LA VELOCIDAD RELATIVA ENTRE LECHO Y GAS ES ALTA Y EL FLUJO ES TURBULENTO. LA GRAVEDAD Y LA AGLOMERACIÓN MANTIENEN A LAS PARTÍCULAS EN EL EMPARRILLADO.

EN SEGUNDO LUGAR SE PUEDE CITAR EL MÉTODO, TAMBIÉN CLÁSICO, DEL QUEMADOR DE CARBÓN PULVERIZADO, QUE UTILIZA UNA BOQUILLA POR DONDE EL COMBUSTIBLE Y EL AIRE ENTRAN A PRESIÓN.

EN ESTE CASO SE APLICAN LAS LEYES AERODINÁMICAS PARA EL COMPORTAMIENTO DE PARTÍCULAS SÓLIDAS SUSPENDIDAS EN UN GAS. DEBIDO A CIERTOS FACTORES SE CREA UNA DIFERENCIA DE VELOCIDADES ENTRE PARTÍCULA Y GAS. LA SUPERFICIE REACTIVA DE QUE SE DISPONE ES GRANDE, PERO LAS VELOCIDADES RELATIVAS ENTRE GAS Y SÓLIDO, ESPECIALMENTE

EN LOS ÚLTIMOS ESTADOS DE COMBUSTIÓN, SON BAJAS.

EN EL MÉTODO QUE UTILIZA LA FLUIDIZACIÓN, LAS PARTÍCULAS CAMBIAN CONSTANTEMENTE DE POSICIÓN. CUANDO ESTAN MOMENTÁNEAMENTE SOBRE EL SOPORTE DEL LECHO SE TIENEN LAS CONDICIONES DEL COMBUSTIBLE PULVERIZADO SOBRE UNA PARRILLA. CUANDO LA PARTÍCULA SE ENCUENTRA SUSPENDIDA, LA VELOCIDAD RELATIVA ENTRE CARBÓN Y AIRE DECRECE, PERO DEBIDO AL ESTADO DE INTENSA AGITACIÓN EN QUE SE ENCUENTRAN LAS PARTÍCULAS SE AUMENTA LA PROPORCIÓN DE SUPERFICIE DISPONIBLE. LA AERODINÁMICA DE LA FLUIDIZACIÓN NO ESTA TODAVÍA COMPLETAMENTE EXPLORADA.

FINALMENTE, EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN CICLÓNICA PARA CARBÓN PULVERIZADO, LAS PARTÍCULAS SON INTRODUCIDAS JUNTO CON EL AIRE QUE LAS SUSPENDE. SIN EMBARGO, LA FUERZA CENTRÍFUGA OBLIGA A LAS PARTÍCULAS MÁS GRANDES A SEPARARSE E IR HACIA LA PERIFERIA Y DEPOSITARSE EN LAS PAREDES, EN DONDE SE ENCUENTRA UNA CAPA DE CENIZAS FUNDIDA, QUE RETIENE A LAS PARTÍCULAS, LAS CUALES QUEDAN EXPUESTAS AL PASO DEL AIRE PERMITIENDO ASÍ UNA ALTA VELOCIDAD DE REACCIÓN.

LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN EN LA MANUFACTURA DE MONÓXIDO DE CARBONO E HIDRÓGENO HA SIDO INVESTIGADA EN "THE FUEL RESEARCH STATION", DONDE SE HA EXPERIMENTADO UN CICLÓN DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA CON DOS PIES DE DIÁMETRO POR DOS PIES DE ALTURA, ENFRIADO CON TUBOS DE AGUA Y DE PAREDES REFRACTARIAS. SE INYECTA AIRE Y CARBÓN DE -30 MALLAS EN FORMA TANGENCIAL; SI SE TRABAJA A TEMPERATURAS DE 1500°C O MAYORES, LAS CENIZAS SE MANEJAN EN FORMA LÍQUIDA. LOS RESULTADOS NO SON AÚN SIGNIFICATIVOS DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO, A PESAR DE LLEVAR VARIOS AÑOS DE EXPERIMENTACIÓN. LA EFICIENCIA

DE GASIFICACIÓN
PREMATURA DE PA

EN ALEMANIA
MADA "DER RUHRGA
MERCIAL; ES UNA
DIÁMETRO (9) CA
DIARIAS DE CARB
MARA LLEGA AL 30
20% DE CARBÓN ES
NUEVAMENTE A LA

JAS.
ÓN,
SI-
SO-
DEL
A.
LA
CE,
EN
LA
RODI-
COM-

CI-
ULAS
SUS-
BLI-
BE E
PARE-
ZAS
MA -
TIEN-

N EN
RÓGE-
ARCH
CLÓN
ETRO
S DE
ECTA
CIAL;
AYO-
IDA.
ESDE
EVAR
NCIA

DE GASIFICACIÓN ES RESTRINGIDA POR LA SALIDA
PREMATURA DE PARTÍCULAS SIN GASIFICAR.

EN ALEMANIA ESTÁ TRABAJANDO UNA PLANTA, LLA-
MADA "DER RUHRGAS", LA CUAL YA OPERA EN FORMA CO-
MERCIAL; ES UNA CÁMARA CICLÓNICA DE 6.5 PIES DE
DIÁMETRO (9) CAPAZ DE GASIFICAR 100 TONELADAS
DIARIAS DE CARBÓN. EL POLVO QUE SALE DE LA CÁ-
MARA LLEGA AL 30 % DE LA CARGA TOTAL Y CONTIENE
20% DE CARBÓN ESTE POLVO SE RECIRCULA PASÁNDOLO
NUEVAMENTE A LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.

III.- ANALISIS TEORICO DE INGENIERIA

EL PRINCIPIO DE LAS CÁMARAS CICLÓNICAS FUE INTRODUCIDO POR LANDER Y DESARROLLADO POR HURLEY. EL AIRE Y EL COMBUSTIBLE PULVERIZADO SE INTRODUCEN TANGENCIALMENTE AL TRAVÉS DE LA PERIFERIA DEL REMOLINO CENTRAL DEL CICLÓN Y LOS GASES DE COMBUSTIÓN SE EXTRAEN POR EL CENTRO. LAS PARTÍCULAS ESTÁN EXPUESTAS A LA ACCIÓN DE FUERZAS CENTRÍFUGAS QUE ACTÚAN HACIA LA PERIFERIA DEL REMOLINO CENTRAL Y OTRA QUE ACTÚA HACIA EL EJE, LA CUAL ES CAUSADA POR EL AIRE AL LLEGAR AL CENTRO EN FLUJO ESPIRAL; DE ESTA MANERA, UNA PARTÍCULA CONSIDERADA INDIVIDUALMENTE SE PUEDE ENCONTRAR EN UNA POSICIÓN DE EQUILIBRIO EN DONDE ESAS DOS FUERZAS SEAN IGUALES Y LA PARTÍCULA ENTONCES ADQUIERA UN MOVIMIENTO DE ROTACIÓN QUE LE PERMITA REACCIONAR CON OXÍGENO DE AIRE FRESCO LO QUE ASEGURA UNA COMBUSTIÓN RÁPIDA.

DE LAS CONSIDERACIONES ANTERIORES, SE SIGUE QUE LAS CÁMARAS CICLÓNICAS TIENEN CIERTAS VENTAJAS COMPRADAS CON OTROS SISTEMAS DE COMBUSTIÓN, COMO CONSECUENCIA DE LAS CUALES LA INTENSIDAD DE COMBUSTIÓN RELATIVA A UNA PARTÍCULA, PUEDE SER AUMENTADA; ESAS VENTAJAS SON LAS SIGUIENTES:

1.- TODA LA SUPERFICIE DE LA PARTÍCULA ESTÁ EXPUESTA AL FLUJO DE OXÍGENO TRANSPORTADOR Y POR TANTO LAS LIMITACIONES DEBIDAS AL TRANSPORTE DE MATERIA SON REDUCIDAS GRANDEMENTE Y EL AIRE FRESCO ES DISPONIBLE EN UNA MAYOR PARTE DEL PERÍODO DE COMBUSTIÓN LO QUE MANTIENE LA VELOCIDAD

DAD DE REACCIÓN QUÍMICA.

2.- LAS CÁMARAS CICLÓNICAS DAN TIEMPO SUFICIENTE PARA QUE LOS COMBUSTIBLES CON BAJA VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN PUEDAN REACCIONAR COMPLETAMENTE.

LA INTENSIDAD DE COMBUSTIÓN SE AUMENTA CON EL INCREMENTO DEL NÚMERO DE REYNOLDS, PERO ES EVIDENTE QUE DEBE HABER UN LÍMITE:

$RE = RE_{LIM}$, ARRIBA DE LA CUAL LA COMBUSTIÓN SE EXTINGUE.

OTRA FUENTE DE TRANSFERENCIA TÉRMICA A LA PARTÍCULA ES A TRAVÉS DE LA RADIACIÓN DE OTRAS PARTÍCULAS O DE LAS PAREDES DE LA CÁMARA, ESA ENERGÍA ES MÁS ESENCIAL PARA LA IGNICIÓN DE LAS PARTÍCULAS DE COMBUSTIBLE, QUE PARA MANTENER LA COMBUSTIÓN PROPIAMENTE DICHA.

EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA POR RADIACIÓN "AR" ESTA DADO POR:

$$AR = CR \left[\left(\frac{T_W}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_F}{100} \right)^4 \right]$$

EN DONDE "CR" DEPENDE DEL COEFICIENTE DE RADIACIÓN DE LAS ÁREAS RESPECTIVAS Y DE SU MAGNITUD, T_W ES LA TEMPERATURA DE LA PARED Y T_F ES LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA PARTÍCULA. SI $T_F \approx T_W$, AR ES MUY PEQUEÑA. PARA EL PERÍODO DE IGNICIÓN SE TIENE:

$$AR = CR \left(\frac{T_W}{100} \right)^4$$

LA IGNICIÓN DE UNA PARTÍCULA EN UNA CÁMARA CICLÓNICA SE INCREMENTA A MEDIDA QUE SE AUMENTA LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA RADIAN-

TE Y DE CON

CON RE
TODA LA SUP
TA POR LARG
LA CANTIDAD
AL AUMENTAR
MINJIR EL T

LA IGN
MÁS EFECTIV
TAL FORMA,
DE EQUILIBR
SES CALIENT

A.- DI

EL CAR
0.01% DEL
COMBUSTIÓN.
SE COMPORTA
APARENTE DE

DE LA
POLVO DE CA
CIA DE CALO
DE MASA POR
SIDENCIA DE
BUSTIÓN.

LAS DI
CAUSADAS PO

A.- LA
CIA DE VELO
NAL DE UNA
SO.

B.- FU

TE Y DE CONVECCIÓN.

CON RESPECTO A LA IGNICIÓN EN EL CICLÓN, TODA LA SUPERFICIE DE LA PARTÍCULA ESTA EXPUESTA POR LARGO TIEMPO A LA CITADA TRANSFERENCIA Y LA CANTIDAD DE CALOR QUE RECIBE ES INCREMENTADA AL AUMENTAR LA TEMPERATURA DE LA PARED Y AL DISMINUIR EL TAMAÑO DE PARTÍCULA.

LA IGNICIÓN POR CONVECCIÓN PUEDE HACERSE MÁS EFECTIVA SI LAS PARTÍCULAS SE INTRODUCEN EN TAL FORMA, QUE AL ALCANZAR SU RADIO INDIVIDUAL DE EQUILIBRIO SE ENCUENTRAN CON EL FLUJO DE GASES CALIENTES DE SUS PREDECESORAS

A.- DINÁMICA DE FLUJO.

EL CARBÓN FINO (0.074 MM) OCUPA MENOS DEL 0.01% DEL VOLUMEN DEL AIRE REQUERIDO PARA SU COMBUSTIÓN. AERODINÁMICAMENTE TAL SUSPENSIÓN SE COMPORTA COMO GAS, POSIBLEMENTE CON UN AUMENTO APARENTE DE VISCOSIDAD.

DE LA DIFERENCIA DE VELOCIDAD ENTRE GAS Y POLVO DE CARBÓN DEPENDE, ADEMÁS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN NATURAL Y FORZADA Y DE MASA POR DIFUSIÓN MOLECULAR, EL TIEMPO DE RESIDENCIA DE CADA PARTÍCULA EN EL ESPACIO DE COMBUSTIÓN.

LAS DIFERENCIAS DE VELOCIDADES PUEDEN SER CAUSADAS POR:

A.- LA GRAVEDAD, QUE CONDUCE A UNA DIFERENCIA DE VELOCIDAD, CONOCIDA COMO VELOCIDAD TERMINAL DE UNA PARTÍCULA QUE CAE EN UN MEDIO GASEOSO.

B.- FUERZAS CENTRÍFUGAS EN REMOLINO BAJO

CONDICIONES DE TURBULENCIA.

C.- FUERZAS DE FLOTACIÓN DEBIDO A LA TEMPERATURA MÁS ALTA DE LA CAPA ENVOLVENTE DE GAS CALIENTE.

ESTAS DIFERENCIAS DE VELOCIDADES ORIGINAN DOS EFECTOS: A) QUITAN O REDUCEN EL GRUESO DE LA PELÍCULA ESTACIONARIA EN LA SUPERFICIE Y, B) DEBIDO A LA ACELERACIÓN, LA MAYOR INERCIA DE LAS PARTÍCULAS LES PERMITE LLEGAR A SITIOS DONDE HAYA SUFICIENTE OXÍGENO. POR TANTO, TODAS LAS PARTÍCULAS MENORES DE 60 MICRAS ENCUENTRAN EL OXÍGENO REQUERIDO EN SU INMEDIATA VECINDAD, MIENTRAS QUE LAS PARTÍCULAS MÁS GRANDES DEPENDEN DE DIFERENCIAS DE VELOCIDAD MAYORES PARA SATISFACER SUS REQUERIMIENTOS DE AIRE.

A ESTE RESPECTO SE TIENE QUE LA VELOCIDAD TERMINAL DE LAS PARTÍCULAS MÁS GRANDES (0.2 MM) A 1000° 6 1250°C ES APROXIMADAMENTE 0.4 M/SEG. QUE ES POR TANTO LA MÁXIMA DIFERENCIA DE VELOCIDAD ENTRE PARTÍCULA Y GAS QUE PUEDE DAR LA CÁLIDA POR GRAVEDAD DE LA MISMA PARTÍCULA; LO MÁS FRECUENTE ES QUE EL DIÁMETRO DE PARTÍCULA SEA 1/6 DEL DIÁMETRO MÁXIMO DE PARTÍCULA PRESENTE; PARA ESTE VALOR LA VELOCIDAD DIFERENCIAL SERÍA TAN SOLO DE 0.1 M/SEG. ESTOS VALORES ESTÁN RELACIONADOS CON EL DIÁMETRO INICIAL DE PARTÍCULA Y SE DEBE RECORDAR QUE EL DIÁMETRO DISMINUYE CONFORME LA COMBUSTIÓN AVANZA.

CUANDO SE HABLA DE MOMENTOS DE PARTÍCULA DE CARBÓN EN ESPACIOS DE COMBUSTIÓN, GENERALMENTE PASA INADVERTIDO QUE LA PARTÍCULA ESTA RODEADA POR UNA CAPA DE GAS CALIENTE, CUYA TEMPERATURA ES MAYOR QUE LA ATMÓSFERA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN; LA DIFERENCIA DE DENSIDADES CREA FUERZAS DE FLOTACIÓN QUE PUEDEN INCLUSIVE, CON-

TRARRESTAR
REVERSIBLE

EN CO
CIDAD POR
FUERZAS CE
TE MÁS GRAN
CIDADES MA
RENTE, ESTO
CIÓN MAYOR
NICA ESTE P
MINANTE.

ES CO
TURBULENCIA
ESTA ÚLTIMA
DIENTE DE F
DE GAS NO S
PERO PROVOCA
DOS POR CI
SIN EMBARGO
PARA LAS INN
RE = $\frac{\text{VELOCIDAD}}{\text{VISCOSIDAD}}$
SE ENCUENTRA
TURAS ENTRE
LEJOS DE SIG
DES DE LA PA
FUERZAS CENT
COMO QUEMADO
TERCIARIO AD

LA TURB
EXPANSIONES)
UN NÚMERO EL
ZAS DE FLOTAC
TÁN QUEMANDO
CIO DE COMBUS
TIRÁN CONDICI

TRARRESTAR EL EFECTO DE GRAVEDAD Y AÚN HACERLO REVERSIBLE.

EN COMPARACIÓN CON LAS DIFERENCIAS DE VELOCIDAD POR GRAVEDAD, LAS VELOCIDADES DEBIDAS A FUERZAS CENTRÍFUGAS PUEDEN SER CONSIDERABLEMENTE MÁS GRANDES Y CONducIR A DIFERENCIA DE VELOCIDADES MAYORES ENTRE PARTÍCULAS DE TAMAÑO DIFERENTE, ESTO DA LUGAR A VELOCIDADES DE COMBUSTIÓN MAYORES Y ES OBVI0 QUE EN LA CÁMARA CICLÓNICA ESTE REQUISITO ES LA CARACTERÍSTICA DETERMINANTE.

ES CONVENIENTE HACER LA DISTINCIÓN ENTRE TURBULENCIA ARTIFICIAL Y TURBULENCIA NATURAL. ESTA ÚLTIMA ES UNA PROPIEDAD DEL FLUJO INDEPENDIENTE DE FUERZAS EXTERNAS. VARIAS PORCIONES DE GAS NO SIGUEN UNA DIRECCIÓN GENERAL DE FLUJO, PERO PROVOCAN ENTRE ELLAS REMOLINOS CARACTERIZADOS POR CIERTO VALOR DEL NÚMERO DE REYNOLDS. SIN EMBARGO, CALCULANDO EL NÚMERO DE REYNOLDS PARA LAS INMEDIACIONES DE UNA PARTÍCULA;

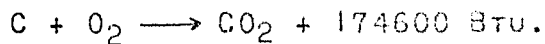
$$Re = \frac{\text{VELOCIDAD TERMINAL} \times \text{DIÁMETRO DE PARTICULA}}{\text{VISCOSIDAD CINEMÁTICA DEL GAS DE COMBUSTIÓN}}$$
SE ENCUENTRAN VALORES ABAJO DE 1, PARA TEMPERATURAS ENTRE 100°C Y 1250°C, LOS QUE ESTÁN MUY LEJOS DE SIGNIFICAR TURBULENCIA EN LAS VECINDADES DE LA PARTÍCULA. EL ORIGEN DE REMOLINOS Y FUERZAS CENTRÍFUGAS DEPENDEN DE FACTORES, TALES COMO QUEMADOR Y ENTRADAS DE AIRE SECUNDARIO Y TERCIARIO ADECUADOS.

LA TURBULENCIA ARTIFICIAL ES PRODUCIDA POR EXPANSIONES REPENTINAS DURANTE LA COMBUSTIÓN DE UN NÚMERO ELEVADO DE PARTÍCULAS Y POR LAS FUERZAS DE FLOTACIÓN DE ESAS PARTÍCULAS QUE SE ESTÁN QUEMANDO COMO EN LA PRIMERA MITAD DEL ESPACIO DE COMBUSTIÓN. EL EFECTO TOTAL ES QUE EXISTIRÁN CONDICIONES DE TURBULENCIA DURANTE LA IG-

NICIÓN DEL CARBÓN, ASÍ COMO EN EL PRIMER PERÍODO DE COMBUSTIÓN, PERO PARA LA COMBUSTIÓN DE LAS PARTÍCULAS SE DEPENDE PRINCIPALMENTE DE LA DIFUSIÓN COMO EL PRINCIPAL MEDIO DE OBTENER OXÍGENO.

B.- TERMODINÁMICA DEL PROCESO.

DURANTE EL PROCESO DE COMBUSTIÓN (INDEPENDIENTEMENTE DE LAS TEORIAS QUE SE CONOCEN ACERCA DE SI DURANTE LA PRIMERA FASE DE LA COMBUSTIÓN HAY FORMACIÓN DE MONÓXIDO O BIÓXIDO DE CARBONO O BIEN UN COMPUESTO COMPLEJO QUE INCLUYA AMBOS ÓXIDOS) COMO RESULTADO FINAL DE LA MISMA SE OBTIENE SIEMPRE BIÓXIDO DE CARBONO DE ACUERDO CON LA ECUACIÓN:



CUYA CONSTANTE DE EQUILIBRIO SIGUE UNA ECUACIÓN DEL TIPO:

$$\text{Log } K = \frac{36.980}{T} - 0.300 \text{ Log } T + 7.89 \times 10^{-5} - 7.5 \times 10^{-9} T^2 + 0.983$$

K ESTA EN TÉRMINOS DE PRESIONES PARCIALES EN ATMÓSFERAS, Y T EN GRADOS RANKINO. A UNA TEMPERATURA DE 1650°F, K TIENE UN VALOR DE 3.5×10^{17} , ESTO ES, MEZCLAS EN EQUILIBRIO, A ESTA TEMPERATURA SE TIENE UNA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO EN CONTACTO CON CARBONO DE:

$$[O_2] = \frac{[CO_2]}{3.5 \times 10^{17}} = 2.9 \times 10^{-18} \text{ CO}_2$$

AL DESPEJAR LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DE LA ECUACIÓN TERMODINÁMICA:

$$K = \frac{[CO_2]}{[O_2]}$$

ESTO
COMBUSTIÓN
REACCIÓN YA
TIEMPO DE
DE CARBÓN,
SE COMPLET

CO₂+C

EL BI
CON MÁS CA
DE ACUERDO
TANTE DE E

Y VARIA C
ECUACIÓN
LOG K = 1
X 10⁻⁵ T²
SU REPRES
FIG. 1, E
PERATURA
DITÉRMICA
A LA REVE

LA C
DISMINUYE
NO CONFO
EN EQUIL
SEG
C +
HAY LA
VAR LA C
SERÍA EN
CIÓN, YA
VELOCIDA
CON CARB

ESTO SIGNIFICA QUE A LAS TEMPERATURAS DE COMBUSTIÓN PRÁCTICAMENTE SE PUEDE CONSIDERAR LA REACCIÓN IRREVERSIBLE. ES DECIR, QUE DÁNDOLE EL TIEMPO DE RESIDENCIA ADECUADO A UNA PARTÍCULA DE CARBÓN, NO HAY PELIGRO DE QUE LA REACCIÓN NO SE COMPLETE.



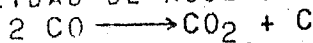
EL BIÓXIDO DE CARBONO FORMADO REACCIONARÍA CON MÁS CARBONO PARA FORMAR MONÓXIDO DE CARBONO DE ACUERDO CON LA REACCIÓN ANTERIOR, CUYA CONSTANTE DE EQUILIBRIO ES:

$$K = \frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]}$$

Y VARÍA CON LA TEMPERATURA DE ACUERDO CON UNA ECUACIÓN DEL TIPO:

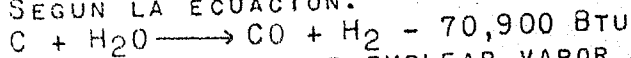
$$\text{LOG } K = 16.000 + 2.46 \text{ LOG } T - 6.0 \times 10^{-4} T + 3.43 \times 10^{-8} T^2 + 2.15$$

SU REPRESENTACIÓN GRÁFICA SE ENCUENTRA EN LA FIG. 1, EN DONDE SE VE QUE A MEDIDA QUE LA TEMPERATURA AUMENTA Y PUESTO QUE LA REACCIÓN ES ENDOTÉRMICA, LA CONSTANTE AUMENTA TENDIENDO MENOS A LA REVERSIBILIDAD DE ACUERDO CON LA ECUACIÓN:



LA CURVA DE LA FIGURA 2 DA IDEA DE CÓMO VA DISMINUYENDO LA CONTRACCIÓN DE BIÓXIDO DE CARBONO CONFORME LA TEMPERATURA AUMENTA EN MEZCLAS EN EQUILIBRIO.

SEGUN LA ECUACIÓN:



HAY LA POSIBILIDAD DE EMPLEAR VAPOR PARA ELEVAR LA CONCENTRACIÓN DE MONÓXIDO; AUNQUE ESTO, SERÍA EN DETRIMENTO DE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN, YA QUE COMO SE ANALIZARÁ MÁS ADELANTE, LA VELOCIDAD DE REACCIÓN DEL BIÓXIDO DE CARBONO CON CARBÓN PARA DAR MONÓXIDO DE CARBONO ES

APROXIMADAMENTE DOS VECES LA PRIMERA.

EL VALOR DE LA CONSTANTE DE EQUILIBRIO PARA ESA ECUACIÓN ES:

$$K = \frac{[CO][H_2]}{[H_2O]}$$

CUYA VARIACIÓN SIGUE UNA FUNCIÓN DEL TIPO:

$$\text{Log } K = \frac{11,800}{T} + 7.13$$

LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE ESTA ECUACIÓN APARECE EN LA FIGURA No. 3

LA INFORMACIÓN CON RESPECTO A LA VELOCIDAD DE REACCIÓN DE LA ECUACIÓN $C+O_2 \rightarrow CO_2$ NO ES LO SUFICIENTEMENTE COMPLETA, SIN EMBARGO, SE PUEDE DECIR QUE ES SUBSTANCIALMENTE INSTANTÁNEA A TEMPERATURAS ARRIBA DE 982°C. SEGUN DATOS DE RHEAD Y WHEELER (3) LAS VELOCIDADES RELATIVAS A TEMPERATURAS BAJAS SON:

TEMPERATURA	VELOCIDAD RELATIVA.
350°C	1
400°C	10
500°C	400

AQUÍ SE TOMA COMO 1 LA VELOCIDAD DE REACCIÓN A 350°C Y LAS DEMÁS VELOCIDADES SON RELATIVAS CON RESPECTO A ÉSTA.

EL INCREMENTO DE LA VELOCIDAD CON LA TEMPERATURA ES EVIDENTE, DE MANERA QUE EL PUNTO DE VISTA DE QUE LA REACCIÓN ES INSTANTÁNEA A 982°C ESTÁ PERFECTAMENTE JUSTIFICADO.

A CONTINUACIÓN SE DAN VALORES DE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN DE IZQUIERDA A DERECHA PARA LA REACCIÓN: $CO_2+C \rightarrow 2 CO$ PARA PARTÍCULAS DE 5 MM DE DIÁMETRO Y DIFERENTES TIPOS DE CARBÓN:

TEMPERATURA. °C	K PARA P
	CARBÓN DE DERA
800	0.021
900	0.159
1000	0.619
1100	1.53
1200	
1300	

LOS VALORES DE
2.3 $\text{Log } K = \frac{A}{T}$

VELOCIDADES RELATIVAS
X100 DE CARBÓN CON

TIPO DE CARBÓN
COQUE ANTRACITA CARBÓN DE MADERA

LAS VELOCIDADES
SU DIFERENCIA CON
ENCUENTRAN EN LA C

C.- CINÉTICA.

TEMPERATURA. °C	K PARA PARTÍCULAS DE 5 MM DE DIÁMETRO		
	CARBÓN DE MADERA	COQUE	ANTRACITA
800	0.021		
900	0.159	0.00230	
1000	0.619	0.023	
1100	1.53	0.134	0.119
1200		0.416	0.237
1300		1.48	0.578

LOS VALORES DE K VARÍAN SEGUN LA ECUACIÓN:
 $2.3 \text{ Log } K = \frac{A}{T} + BT + C,$

VELOCIDADES RELATIVAS DE REDUCCIÓN DE BÍOXIDO DE CARBONO CON CARBÓN DE DIFERENTES TIPOS:

TIPO DE CARBÓN	VELOCIDADES RELATIVAS DE REDUCCIÓN	
	955°C	1094°C
COQUE	1	1
ANTRACITA	29	1
CARBÓN DE MADERA	69	12

LAS VELOCIDADES RELATIVAS DE REDUCCIÓN Y SU DIFERENCIA CON RESPECTO AL TIPO DE CARBÓN SE ENCUENTRAN EN LA GRÁFICA 4.

C.- CINÉTICA.

UN FACTOR FUNDAMENTAL EN EL DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE LAS INSTALACIONES QUE MANEJAN COMBUSTIBLE PULVERIZADO ES EL TIEMPO DE COMBUSTIÓN TOTAL DE LA PARTÍCULA EN RELACIÓN AL TIEMPO DE RESIDENCIA DE LA MISMA EN EL ESPACIO DE COMBUSTIÓN.

PUESTO QUE EL TIEMPO DE COMBUSTIÓN PARA LAS PARTÍCULAS PEQUEÑAS ES MUY REDUCIDO, PARA LAS PARTÍCULAS MAYORES ESTE TIEMPO ADQUIERE UN INTERÉS ESPECIAL. PARA EVITAR PÉRDIDAS DE CARBÓN SE DEBERÁ OBSERVAR QUE EL TIEMPO DE RESIDENCIA, T_r , SEA MAYOR QUE EL TIEMPO DE COMBUSTIÓN PARA UN 98% DE LAS PARTÍCULAS DE CARBÓN.

EL TIEMPO DE RESIDENCIA DEPENDE PRINCIPALMENTE DE FACTORES AERODINÁMICOS Y EL TIEMPO DE COMBUSTIÓN ES CONTROLADO POR UNA INTERDEPENDENCIA DE FACTORES AERODINÁMICOS Y QUÍMICOS.

EL CONCEPTO DE VELOCIDAD DE REACCIÓN, EXPRESADO, POR EJEMPLO, COMO MILIGRAMOS DE CARBÓN QUEMADOS POR SEGUNDO Y POR CENTÍMETRO CUADRADO, NO SE PUEDE APLICAR A LA PRIMERA ETAPA DE LA COMBUSTIÓN, CUANDO LOS VOLÁTILES SE ESTÁN QUEMANDO AFUERA DE LA PARTÍCULA Y ESTAS PARTÍCULAS SE COMPORTAN MÁS BIEN COMO GAS; SE PUEDE APLICAR SOLO A LAS PARTÍCULAS GRANDES, Y LA CINÉTICA DE ESA REACCIÓN HA SIDO OBJETO DE ESTUDIOS PRÁCTICOS Y TEÓRICOS.

SE PUEDE SUPONER QUE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN DE UNA PARTÍCULA QUE HA LLEGADO A SU PUNTO DE IGNICIÓN, AL SER GRAFICADA CONTRA EL PROGRESO DE LA REACCIÓN HACIA SU TOTALIDAD, TIENE EL CARÁCTER GENERAL DE LA CURVA QUE SE MUESTRA EN LA FIGURA 5.

AL PRINCIPIO DE LA REACCIÓN EL OXÍGENO ES SUFICIENTE, LA TURBULENCIA ELEVADA, PERO LA TEM-

PERATURA ES BAJA
EL OXÍGENO ES
LA TEMPERATURA
Y LAS CENIZAS AF

LA MÁXIMA
ZADA A CIERTA
PERFICIAL Y LAS
LA TEMPERATURA,
DE LA FACILIDAD
METRO DE PARTÍC
LOR POR CONVECCI
CULAS.

LA PRIMERA
DA AL QUEMARSE
BÓN, LO CUAL EL
RA EN TANTO SE
LA VECINDAD. E
DE OXÍGENO PAR
HASTA QUE SALEN
QUEMANDO A REGIO
DANTE.

LOS DOS ME
LA COMBUSTIÓN
PRINCIPIO DE LA
DO CUANDO HAY
CENIZAS AÓN NO
COMBUSTIÓN.

DEBIDO A
VELOCIDAD DE
EQUACIÓN:
 $R = A e^{-C}$
EN DONDE:
A Y C SON CON

SE HA COM

PERATURA ES BAJA HACIA EL FINAL DE LA REACCIÓN, EL OXÍGENO ES ESCASO, LA TURBULENCIA ES BAJA, LA TEMPERATURA ES ALTA, PERO EMPIEZA A DESCENDER Y LAS CENIZAS AFECTAN LA VELOCIDAD DE REACCIÓN.

LA MÁXIMA VELOCIDAD DE REACCIÓN ES ALCANZADA A CIERTA RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL Y LAS POSIBILIDADES DE TOMAR OXÍGENO. LA TEMPERATURA, EN CONSECUENCIA, DEPENDE ADEMÁS DE LA FACILIDAD PARA ENCONTRAR OXÍGENO, DEL DIÁMETRO DE PARTÍCULA Y DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN Y RADIACIÓN ENTRE LAS PARTÍCULAS.

LA PRIMERA PARTE DE LA COMBUSTIÓN ES RÁPIDA AL QUEMARSE LOS VOLÁTILES Y LOS FINOS DE CARBÓN, LO CUAL ELEVA EN FORMA RÁPIDA LA TEMPERATURA. EN TANTO SE CONSUME CASI TODO EL OXÍGENO DE LA VECINDAD. ESTO PRODUCE UNA FALTA MOMENTÁNEA DE OXÍGENO PARA LAS PARTÍCULAS CARBONIZADAS, HASTA QUE SALEN DE LA FLAMA DE GAS QUE SE ESTÁ QUEMANDO A REGIONES DONDE EL OXÍGENO ES MÁS ABUNDANTE.

LOS DOS MÁXIMOS CORRESPONDEN, EL PRIMERO A LA COMBUSTIÓN DE LOS VOLÁTILES Y EL SEGUNDO AL PRINCIPIO DE LA COMBUSTIÓN DEL RESIDUO CARBONIZADO CUANDO HAY TODAVÍA SUFICIENTE OXÍGENO Y LAS CENIZAS AÚN NO INTERFIEREN CON LA VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN.

DEBIDO A LA NATURALEZA EXPONENCIAL DE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN DE COMBUSTIÓN SEGUN LA ECUACIÓN:

$$R = A e^{-\frac{C}{T}}$$

EN DONDE:

A Y C SON CONSTANTES Y T TEMPERATURA ABSOLUTA.

SE HA COMPROBADO EXPERIMENTALMENTE QUE A

TEMPERATURAS SUPERIORES A 1100°C EL MONÓXIDO DE CARBONO ES EL PRODUCTO PRIMARIO DE LA COMBUSTIÓN, ESTOLÓGICAMENTE NOS INCLINA A PENSAR QUE LA COMBUSTIÓN DEL MONÓXIDO A BIÓXIDO TIENE LUGAR COMO UNA REACCIÓN HOMOGÉNEA SECUNDARIA Y ENTONCES ES PRECISO PENSAR QUE HAYA DOS FRENTES DE COMBUSTIÓN: EL PRIMERO EN LA SUPERFICIE DE LA PARTÍCULA Y EL SEGUNDO A UNA DISTANCIA PEQUEÑA, EN DONDE EL MONÓXIDO Y EL HIDRÓGENO ENCUENTRAN OXÍGENO. ESTE SEGUNDO FRETE DE COMBUSTIÓN AYUDARÍA A MANTENER POR RADIACIÓN, UNA TEMPERATURA ALTA EN LA SUPERFICIE DE LA PARTÍCULA, PERO ACTUARÍA TAMBIÉN COMO MALLA PARA EL OXÍGENO QUE TRATA DE LLEGAR A LA PARTÍCULA Y DE ESTA MANERA BAJARÍA LA VELOCIDAD DE REACCIÓN DE LA SUPERFICIE.

ALGUNOS INVESTIGADORES HAN ENCONTRADO QUE EXISTEN TRES ETAPAS DE TEMPERATURAS EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE CARBÓN, DURANTE LAS CUALES LA VELOCIDAD DE REACCIÓN ES CONTROLADA POR FACTORES DIFERENTES.

A TEMPERATURAS BAJAS, DEL ORDEN DE 500 A 600°C , EN LAS CUALES LA SUPERFICIE INTERNA Y EXTERNA DEL CARBÓN PUEDEN ADQUIRIR OXÍGENO SUFICIENTE, LA REACCIÓN ES CONTROLADA PURAMENTE POR EL PROCESO QUÍMICO Y TIENE UNA GRAN ENERGÍA DE ACTIVACIÓN; A TEMPERATURAS MEDIAS DE 750°C , LA VELOCIDAD DE REACCIÓN QUÍMICA AUMENTA, PERO PARA LA SUPERFICIE INTERNA DISMINUYE, DANDO LUGAR A UNA DISMINUCIÓN DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN. A TEMPERATURAS ARRIBA DE 1100°C , EN DONDE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN QUÍMICA ES ALTA, LA VELOCIDAD REAL ESTÁ DEFINIDA POR EL TRANSPORTE DE OXÍGENO A TRAVÉS DE LA PELÍCULA GASEOSA HACIA LAS PARTÍCULAS DE CARBÓN.

LA AFIRMACIÓN DE QUE A TEMPERATURAS ALTAS LA RESISTENCIA QUÍMICA LLEGA A SER DESPRECIABLE

NO SIGNIFICA QUE SE HAYA TRANSFERENCIAS EN LA REACCIÓN, PUES DESAPARECE A TANTO LA VELOCIDAD DE REACCIÓN COMO LAS REACTIVIDADES Y LAS BAJAS SOBRE ELLAS, BAJAS DE COMBUSTIÓN, SON TODAVÍA

LA PRIMERA Y LA SEGUNDA PERÍODO SE OCURREN APROXIMADAMENTE EL TERCER PERÍODO SE OCURRE EL QUEMADO CUANDO EL OXÍGENO EN LA PARTÍCULA, MIENTRAS QUE EL HIDRÓGENO SE MUEVEN EN LA; ESTA TRANSFERENCIA SE DA EN UN LUGAR POR CONVECCIÓN AL MOVIMIENTO RELATIVO POR DIFUSIÓN MOLECULAR

LA ANALOGÍA DE LA REACCIÓN DE COMBUSTIÓN DE UNA MASA, CALOR Y MOMENTO SE APLICAN, YA QUE AL PASAR EL CALOR DE LA PARTÍCULA A LA MASA, LAS SUPOSICIONES SE HAN HECHO. LA VELOCIDAD DE REACCIÓN DE UNA ESFERA DE COMBUSTIÓN. LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LAS PRUEBAS PILOTO Y AÓN Q

MIENTRAS QUE EN LA REACCIÓN DE UNA PELÍCULA LAMINAR DE COMBUSTIÓN, EL TRANSPORTE DE OXÍGENO A TRAVÉS DE LA DIFUSIÓN, GUMI (1) TIENE UN TIEMPO DE COMBUSTIÓN QUE LA TRANSFERENCIA DE CALOR, SIGNIFICANDO QUE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN, SIGNIFICANDO QUE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN BIEN SE INCLUYE.

MONÓXIDO DE
COMBUSTIÓN,
DE LA COM-
BUSTIÓN COMO
TONCES ES
COMBUS-
PARTÍCULA
EN DON-
OXÍGE-
AYUDARÍA
URA ALTA
ACTUARÍA
TRATA DE
BAJARÍA
E.

GRADO QUE
EL PROCE-
SOS CUALES
POR FAC-

DE 500 A
UNA Y EX-
NO SUFI-
ENTE POR
ERGÍA DE
50°C, LA
PERO PA-
DO LUGAR
IVACIÓN.
E LA VE-
VELOCID-
E DE OXÍ-
CIA LAS

ALTAS
E TABLE

NO SIGNIFICA QUE SE HAYA COMPROBADO QUE LAS DIFERENCIAS EN LA REACTIVIDAD DE DIFERENTES CARBONES DESAPARECE A TEMPERATURAS ALTAS Y QUE POR TANTO LA VELOCIDAD DE REACCIÓN SEA LA MISMA PARA DIFERENTES RESIDUOS COQUIZADOS DE CARBÓN. SUS REACTIVIDADES Y LA INFLUENCIA DE LAS CENIZAS SOBRE ELLAS, BAJO CONDICIONES PRÁCTICAS DE COMBUSTIÓN, SON TODAVÍA DESCONOCIDAS.

LA PRIMERA Y LA SEGUNDA ETAPAS COMPRENDEN APROXIMADAMENTE EL PERÍODO DE PREIGNICIÓN. EL TERCER PERÍODO SE COMPARA AL RESIDUO DE CARBÓN QUEMADO CUANDO EL OXÍGENO SE MUEVE HACIA LA PARTÍCULA, MIENTRAS QUE EL MONÓXIDO DE CARBONO Y EL HIDRÓGENO SE MUEVEN HACIA AFUERA DE LA PARTÍCULA; ESTA TRANSFERENCIA DE MATERIA PUEDE TENER LUGAR POR CONVECCIÓN NATURAL O FORZADA, DEBIDO AL MOVIMIENTO RELATIVO ENTRE GAS Y PARTÍCULA Y POR DIFUSIÓN MOLECULAR.

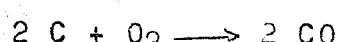
LA ANALOGÍA DEL NÚMERO DE REYNOLDS ENTRE MASA, CALOR Y MOMENTO DE TRANSFERENCIA PUEDE APLICARSE, YA QUE AL MISMO TIEMPO SE TRASMITE CALOR DE LA PARTÍCULA Y HACIA ELLA. BAJO ESTAS SUPOSICIONES SE HAN HECHO INTENTOS DE CALCULAR LA VELOCIDAD DE REACCIÓN O EL TIEMPO DE COMBUSTIÓN DE UNA ESFERA DE CARBÓN Y COMPARARLOS CON LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN PLANTAS PILOTO Y AÚN DE ESCALA INDUSTRIAL.

MIENTRAS QUE LOS PRIMEROS INTENTOS SUPONÍAN UNA PELÍCULA LAMINAR, AL TRAVÉS DE LA CUAL EL TRANSPORTE DE OXÍGENO SÓLO PODÍA EFECTUARSE POR DIFUSIÓN, GUMZ (11) HA BASADO SU ECUACIÓN DE TIEMPO DE COMBUSTIÓN DE CARBÓN EN LA SUPOSICIÓN DE QUE LA TRANSFERENCIA DE MASA ES POR CONVECCIÓN, SIGNIFICANDO QUE POR ANALOGÍA CON LAS LEYES DE TRANSFERENCIA TÉRMICA LA DIFUSIÓN TAMBIÉN SE INCLUYE. ÉSTOS RESULTADOS QUE TOMAN EN

CUENTA LA DISMINUCIÓN DE DIÁMETRO Y OXÍGENO, ESTÁN EN CONCORDANCIA CON RESULTADOS EXPERIMENTALES.

GODSAVE (11) HA RELACIONADO LA VELOCIDAD DE REACCIÓN DE LAS PARTÍCULAS DE CARBÓN DE DIFERENTES TAMAÑOS CON EL FLUJO CIRCUNDANTE Y EMPLEANDO EL CRITERIO DE DIFUSIÓN.

POR EJEMPLO, PARA PARTÍCULAS DE CARBÓN, EN AIRE, A UNA TEMPERATURA DE PELÍCULA DE 1200°C, LA VELOCIDAD DE REACCIÓN DE LA ECUACIÓN:



SE PUEDE REPRESENTAR POR LA ECUACIÓN ADIMENSIONAL:

$$F = 0.347 (1 + 0.276 Sc^{1/3} Re^{1/2})$$

EN LA CUAL F ES UN FACTOR ADIMENSIONAL DE VELOCIDAD DE REACCIÓN:

$$F = \frac{S D}{\rho D}$$

S = VELOCIDAD ESPECÍFICA DE REACCIÓN EN LA SUPERFICIE DE LA ESFERA, EN G CM⁻² SEG⁻¹

D = DIÁMETRO EN CM

ρ = DENSIDAD DEL GAS EN G/CM³

D = COEFICIENTE DE DIFUSIÓN DE OXÍGENO.

Sc = NÚMERO DE SCHMIDT.

Re = NÚMERO DE REYNOLDS.

EL NÚMERO DE SCHMIDT ES UN CRITERIO ADIMENSIONAL PARA TRANSFERENCIA DE MASA POR DIFUSIÓN Y ESTA DEFINIDO POR:

$$Sc = \frac{\text{VISCOSIDAD ABSOLUTA DEL GAS.}}{\text{DENSIDAD DEL GAS POR COEFICIENTE DE DIFUSIÓN}}$$

VALORES DEL NÚMERO DE SCHMIDT PARA OXÍGENO

EN AIRE:

Sc, 1000°C

Sc, 1200°C

EL CALOR DE ES DIRECTAMENTE CIAL DEL OXÍGENO DO MÁXIMO POSIBLE ENCUENTRA EN LA COMBUSTIÓN, PARA NE:

$$CO = \frac{0.42}{1.21} =$$

GODSAVE AFEE DEPENDIENTEMENTE FLUENCIA DE LA SOBRE LA FORMA N PRECIABLE. LA VELOCIDAD DE REA GUN SU ECUACIÓN:

VALORES DE VELO

DIÁMETRO	TEMPERATURA °C
0.2	1200
0.1	1200

ESTA ECUACION ENCUENTRA EN LA COMBUSTIÓN, PARA NE: POR TANTO, LA

EN AIRE:

$$Sc, 1000^{\circ}C \quad \dots \quad 0.951$$

$$Sc, 1200^{\circ}C \quad \dots \quad 0.961$$

EL CALOR DE 0.347 EN LA ECUACIÓN DE GODSAVE ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LA PRESIÓN PARCIAL DEL OXÍGENO EN EL GAS Y EXPRESA EL CONTENIDO MÁXIMO POSIBLE DE MONÓXIDO EN EL GAS QUE SE ENCUENTRA EN LA SUPERFICIE DE LA PARTÍCULA EN COMBUSTIÓN, PARA AIRE SECO Y CARBÓN PURO SE TIENE:

$$CO = \frac{0.42}{1.21} = 0.347$$

GODSAVE AFIRMA QUE ENTRE 800° Y 1400°C, INDEPENDIENTEMENTE DEL NÚMERO DE REYNOLDS, LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE PELÍCULA DEL GAS SOBRE LA FORMA NUMÉRICA DE SU ECUACIÓN, ES DESPRECIABLE. LA TABLA SIGUIENTE DA VALORES DE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN CALCULADOS POR GODSAVE SEGUN SU ECUACIÓN:

VALORES DE VELOCIDAD DE REACCIÓN PARA ESFERAS DE CARBÓN

DIÁMETRO	TEMPERATURA °C	VELOCIDAD DIFERENCIAL CM/SEG	VELOCIDAD DE REACCIÓN
0.2	1200	45 (TERMINAL)	11.0
0.1	1200	10 (TERMINAL)	20.0

ESTA ECUACIÓN SE APLICA SUPONIENDO LA EXISTENCIA INFINITA DE OXÍGENO Y NO TOMA EN CUENTA, POR TANTO, LA DEPRESIÓN DE ÉSTE EN EL HORNO A

MEDIDA QUE LA COMBUSTIÓN AVANZA. DE ESTO LO MÁS IMPORTANTE ES QUE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN AUMENTA CUANDO DISMINUYE EL DIÁMETRO.

POR CONSIGUIENTE, EL NÚMERO DE REYNOLDS DISMINUYE AL DISMINUIR EL DIÁMETRO, LO CUAL SIGNIFICA QUE EN LA DIFUSIÓN, PARALELAMENTE A LA TRANSFERENCIA DE CALOR, EL GRADIENTE ES INVERSAMENTE PROPORCIONAL AL DIÁMETRO. ESTE EFECTO ACCELERANTE EXCEDE EN GRAN PARTE EL EFECTO RETARDANTE DE VELOCIDADES TERMINALES MÁS BAJAS Y NÚMEROS DE REYNOLDS MÁS BAJOS. ESTE ÚLTIMO ES TAN PEQUEÑO, QUE EN TODO CASO NO TIENE UNA INFLUENCIA DETERMINANTE.

LA ECUACIÓN DE GODSAVE DA VALORES DE VELOCIDAD DE REACCIÓN SOLO PARA DIÁMETROS DEFINIDOS. PARA OBTENER UNA VELOCIDAD DE REACCIÓN MEDIA A LO LARGO DE LA "VIDA" DE UNA PARTÍCULA DE CARBÓN EN COMBUSTIÓN, SE TIENE QUE HACER UNA INTEGRACIÓN ENTRE EL DIÁMETRO INICIAL Y FINAL Y PARA OBTENER CONDICIONES REALES EN UN HORNO SE TIENE QUE INTEGRAR ENTRE EL DECREMENTO DE OXÍGENO DE 21% A LA CONCENTRACIÓN FINAL DE ACUERDO CON EL EXCESO QUE SE HAYA EMPLEADO.

EN LA FIGURA No. 6 SE VE LA RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN ACTUAL Y LA INICIAL QUE SE HA GRAFICADO CONTRA EL PROGRESO DE LA COMBUSTIÓN HASTA QUE ÉSTA SEA COMPLETA. SE HA CALCULADO LA CURVA PARA DIFERENTES EXCESOS DE AIRE DE CERO A INFINITO. LAS CURVAS NO TOMAN EN CUENTA TODAVÍA EL EFECTO QUE PUEDAN TENER LAS CENIZAS (AL INCREMENTARSE Y FUNDIRSE) SOBRE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN; PUESTO QUE PUEDE HABER UNA ACCIÓN CATALÍTICA EN FAVOR O EN CONTRA DE LA REACCIÓN POR LA CAPA DE CENIZAS QUE CUBRE A LA PARTÍCULA.

RETARDANTES EN EL MECANISMO
LOS SIGUIENTES:

ACCELERANTES.

- 1.- TEMPERATURA ELEVADA
- 2.- ALTO CONTENIDO DE OXÍGENO
- 3.- TURBULENCIA ELEVADA
- 4.- EXCESO DE OXÍGENO
- 5.- DISMINUCIÓN DEL OXÍGENO

RETARDANTES.

- 1.- PELÍCULA DE GAS EN LA SUPERFICIE
- 2.- CAÍDA EN LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO
- 3.- TEMPERATURAS INFERIORES
- 4.- ALTO CONTENIDO DE CENIZAS

ESTO LO
REACCIÓN

REYNOLDS
CUAL SIG-
ANTE A LA
INVERSA-
EFECTO
RETAR-
S Y NÚ-
MO ES
UNA IN-

VELO-
CINIDOS.
MEDIA A
DE CAR-
INTE-
Y PA-
ORNO SE
OXÍGE-
CUERDO

ENTRE
ICIAL
DE LA
SE HA
SOS DE
TOMAN
TENER
SOBRE
HABER
RA DE
BRE A

RETARDANTES EN EL MECANISMO DE LA COMBUSTIÓN SON
LOS SIGUIENTES:

ACELERANTES.

- 1.- TEMPERATURA ELEVADA.
- 2.- ALTO CONTENIDO DE VOLÁTILES.
- 3.- TURBULENCIA ELEVADA.
- 4.- EXCESO DE OXÍGENO.
- 5.- DISMINUCIÓN DEL DIÁMETRO DE PARTÍCULA.

RETARDANTES.

- 1.- PELÍCULA DE GAS EN LA SUPERFICIE.
- 2.- CAÍDA EN LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO.
- 3.- TEMPERATURAS INFERIORES A 1000°C.
- 4.- ALTO CONTENIDO DE CENIZAS.

IV.- PARTE EXPERIMENTAL

A.- EQUIPO Y MATERIALES.

EL EQUIPO EMPLEADO FUE:

1° UN HORNO CICLÓNICO CON UN VOLUMEN DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE 1.24 PIES³, RECUBIERTO CON UNA CAPA DE REFRACTARIO DE 3 PULGADAS DE ESPESOR QUE EN LA PARTE DE LA CÁMARA ES DE 6 PULGADAS. LA TAPA DEL CICLÓN ES DE MATERIAL REFRACTARIO Y DESMONTABLE, SE LE ADAPTÓ UN TEMOPAR CON EL PROPÓSITO DE REGISTRAR LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA EN UN POTENCIÓMETRO. SE LE ADAPTÓ, ADEMÁS, UN RECEPTÁCULO DE CENIZAS EN LA SALIDA INFERIOR Y UNA CHIMENEA EN LA PARTE SUPERIOR.

2° UNA TOLVA ALIMENTADORA DE CARBÓN QUE SE CERRABA EN FORMA HERMÉTICA Y A LA CUAL SE LE PODÍA INTRODUCIR, POR UN DUCTO ABIERTO EN LA PARTE SUPERIOR, AIRE DERIVADO DE LA LÍNEA DE AIRE PRIMARIO (DE ARRASTRE) CON OBJETO DE QUE SIRVIERA COMO AIRE DE BALANCE Y EVITAR EN LO POSIBLE QUE EL CARBÓN DEJASE DE FLUIR HACIA ABAJO DONDE SE ENCONTRABA UN GUSANO ALIMENTADOR.

EL "AIRE DE BALANCE" TIENE POR FINALIDAD CONTRARRESTAR LA PRESIÓN GENERADA EN LA LÍNEA DE AIRE DE ARRASTRE.

EL AIRE DE ARRASTRE O PRIMARIO SE TOMÓ DE LA LÍNEA GENERAL DE AIRE COMPRIMIDO Y SIRVIÓ COMO VEHÍCULO DE TRANSPORTE DEL CARBÓN PULVERIZA-

DO AL HORNO.

SE UTILIZÓ UN VENTILADOR COMPRESOR PARA INTRODUCIR AIRE SECUNDARIO AL CICLÓN, ASI COMO PARA PROVEER EL AIRE DE COMBUSTIÓN DEL GAS EN LA FASE DE PRECALENTAMIENTO DE LA CÁMARA. SE UTILIZÓ UN MEZCLADOR AIRE-GAS PARA FINES DE PRECALENTAMIENTO DE LA CÁMARA.

EL GAS SE DOSIFICABA MEDIANTE UNA VÁLVULA DE DIAFRAGMA Y SE MEDÍA CON UN ORIFICIO COLOCADO ANTES DE LA ENTRADA DEL MEZCLADOR AIRE-GAS.

LA ALIMENTACIÓN DE CARBÓN SE CONTROLABA MEDIANTE UN MOTOR DE VELOCIDAD VARIABLE QUE ACCIONABA UN GUSANO ALIMENTADOR.

LOS FLUJOS DE AIRE SECUNDARIO, PRIMARIO Y DE GAS SE MIDIERON CON ORIFICIOS CALIBRADOS PREVIAMENTE.

LA TUBERÍA DE AIRE SECUNDARIO ERA DE DOS PULGADAS DE DIÁMETRO Y AL MISMO TIEMPO SERVÍA DE QUEMADOR EN EL CICLÓN.

LA ALIMENTACIÓN DE LA MEZCLA DE AIRE PRIMARIO Y CARBÓN SE HACÍA POR UN TUBO DE 3/8 DE PULGADA QUE SE INTRODUCÍA CONCÉNTRICAMENTE AL DE 2 PULGADAS UN POCO ANTES DE LA ENTRADA AL CICLÓN.

EN LA FIGURA No. 7 SE VE EL ESQUEMA DEL CICLÓN EN FORMA DETALLADA Y EN LA FIGURA No. 8 UN ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA EMPLEADO PARA QUEMAR EL CARBÓN.

EL CARBÓN EMPLEADO EN LAS PRUEBAS ARROJÓ EL SIGUIENTE ANÁLISIS:

HUMEDAD
MATERIA VOLÁTIL
CARBÓN FIJO
CENIZAS
AZUFRE
DENSIDAD APARENTE
PODER CALORÍFICO

PARA EFECTOS
LAS FÓRMULAS DE

CARBÓN FIJO LIBRE

C.F.
100-1

MATERIA VOL
(BASE SECA): 100

PODER CALORÍFICO
100:

BT
100-1

C.F. CARBÓN F
M.V. MATERIA
C. CENIZAS
H. HUMEDAD
S. AZUFRE

SE OBTIENE

PODER CAL

SEGUN EST
MO UN CARBÓN
CIÓN SON LOS

HUMEDAD	3.17 %	ANÁLISIS BASE SECA
MATERIA VOLÁTIL	8.68 %	8.98 %
CARBÓN FIJO	73.12 %	75.50 %
CENIZAS	15.03 %	12.52 %
AZUFRE	0.45 %	
DENSIDAD APARENTE	0.666 % g/cm ³	
PODER CALORÍFICO BAJO	12316 BTU/LB	

PARA EFECTOS DE CLASIFICACIÓN Y EMPLEANDO LAS FÓRMULAS DE PARR TENEMOS:

CARBÓN FIJO LIBRE DE MATERIA MINERAL (BASE SECA):

$$\frac{C.F. \times 100}{100 - (H + 1.1C + 0.15S)}$$

MATERIA VOLÁTIL LIBRE DE MATERIA MINERAL (BASE SECA): 100 - C.F.

PODER CALORÍFICO LIBRE DE MATERIA MINERAL (HÚMEDO):

$$\frac{BTU \times 100}{100 - (1.1C + 0.15S)}$$

C.F. CARBÓN FIJO PORCIENTO.
M.V. MATERIA VOLÁTIL EN PORCIENTO.
C. CENIZAS EN PORCIENTO.
H. HUMEDAD EN PORCIENTO.
S. AZUFRE EN PORCIENTO.

SE OBTIENE ASI: C.F. 95.0 %
M.V. 5.0 %

PODER CALORÍFICO 14850 BTU/LB 9300 Kcal/Kg

SEGUN ESTO EL CARBÓN QUEDA CLASIFICADO COMO UN CARBÓN ANTRACÍTICO CUYOS LÍMITES DE VARIACIÓN SON LOS SIGUIENTES:

CARBÓN FIJO (BASE SECA) 92 A 98 %
MATERIA VOLÁTIL 2 A 8 %

B.- PRUEBAS DE ARRASTRE Y CALIBRACIÓN DE UN GUSANO ALIMENTADOR.

EN LA LITERATURA SE ENCONTRÓ QUE EN LAS PLANTAS INDUSTRIALES QUE QUEMAN CARBÓN PULVERIZADO CUANDO SE QUIERE OBTENER UNA EFICIENCIA ACEPTABLE EN LA COMBUSTIÓN Y LLEVAR AL MISMO A UN PLANO ECONÓMICAMENTE RECOMENDABLE, RESULTA MAS ADECUADO UTILIZAR UN TAMAÑO DE PARTÍCULA QUE PASE LA MALLA 200 EN UN 80%.

AL NO TENER EXPERIENCIA Y ADEMÁS ESCASA LITERATURA EN CUANTO A TAMAÑOS DE PARTÍCULA USADOS EN HORNO DE CICLÓN, SE OPTÓ POR USAR CARBÓN PULVERIZADO QUE PASARA LA MALLA 200 EN UN 100%, CON ESTO SE PRETENDÍA INCREMENTAR LA RAPIDEZ DE COMBUSTIÓN QUE ES FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA.

POR RAZONES DEL TAMAÑO DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN, TAN PEQUEÑO, SE DECIDIÓ UTILIZAR ESE DIÁMETRO DE PARTÍCULA, PUES EN VOLUMEN DE CÁMARA PEQUEÑOS HAY TAMAÑOS MÍNIMOS DE PARTÍCULA ARRIBA DE LOS CUALES YA NO HAY COMBUSTIÓN EFICIENTE O SE ENCUENTRAN GRANDES DIFICULTADES PARA LLEVARLA ACABO.

SE HICIERON ALGUNAS PRUEBAS CON CARBÓN DE MALLA -150.

POR LA VELOCIDAD QUE SE PRETENDÍA IMPRIMIR A LA ENTRADA DEL HORNO, TANTO A LA MEZCLA DEL AIRE PRIMARIO-CARBÓN, COMO A LA CORRESPONDIENTE AL AIRE SECUNDARIO, DE ACUERDO CON LA CARGA TOTAL QUE SE ALIMENTABA, SE ESCOGIÓ UN DIÁMETRO EN EL TUBO DE ARRASTRE DE LA MEZCLA DE AIRE PRI-

MARIO-CARBÓN, DE
PARTIDA CON EL
JO DE AIRE PRIMARIO
SUFICIENTE PARA
RÍA ALIMENTAR Y
TRO HASTA ENCON
DAD DE ARRASTRE

SE ENCONTR
DA DE DIÁMETRO,
CARBÓN DE MALLA
HACER NOTAR QUE
OBSERVACIONES M
FRACCIÓN DE MAL
LOCIDAD DE ARR
GO QUIZAS SE DE
A CIERTA HUMEDAD
NO LO MÁS FACTI

PARA COMBE
TO DE 3/8 PULG.
JOS DE AIRE MUY
RE ADECUADO PAR
SEGUN LA CARGA

DEBE RECO
CIÓN RÁPIDA Y
COMO AIRE PRIM
XIMO; PASANDO
DEFECTUOSA Y L
DEBARIO UN VOL
OCASIONA TEMPE

CON EL P
TANGENCIALES
EMPLÉ EN UNA
1/8 PULG. PARA
FLEXIBILIDAD P
RIO Y CARGA AL

MARIO-CARBÓN, DE 3/8 DE PULGADA COMO PUNTO DE PARTIDA CON EL OBJETO DE DETERMINAR SI ESTE FLUJO DE AIRE PRIMARIO (5 A 30% DEL AIRE TOTAL) ERA SUFICIENTE PARA ARRASTRAR EL MATERIAL QUE SE QUERRÍA ALIMENTAR Y DE NO SER ASÍ, VARIAR EL DIÁMETRO HASTA ENCONTRAR EXPERIMENTALMENTE LA VELOCIDAD DE ARRASTRE.

SE ENCONTRÓ QUE EN UN TUBO DE 3/8 DE PULGADA DE DIÁMETRO, LA VELOCIDAD DE ARRASTRE PARA CARBÓN DE MALLA -200 ERA DE 35 PIES/SEG Y CABE HACER NOTAR QUE ESTO ESTABA EN OPOSICIÓN A OTRAS OBSERVACIONES HECHAS CON PARTÍCULAS MAYORES, LA FRACCIÓN DE MALLA -150 POR EJEMPLO, DONDE LA VELOCIDAD DE ARRASTRE ERA MENOR. ESTO, SIN EMBARGO QUIZAS SE DEBA A FENÓMENOS ELECTROSTÁTICOS O A CIERTA HUMEDAD DEL MATERIAL, SIENDO ESTO ÚLTIMO LO MÁS FACTIBLE.

PARA CONSEGUIR ESAS VELOCIDADES EN EL DUCTO DE 3/8 PULG. ERA NECESARIO EL EMPLEO DE FLUJOS DE AIRE MUY ELEVADOS EN RELACIÓN CON EL AIRE ADECUADO PARA LLEVAR LA COMBUSTIÓN A BIÓXIDO SEGUN LA CARGA DE CARBÓN INTRODUCIDA AL HORNO.

DEBE RECORDARSE QUE PARA OBTENER UNA IGNICIÓN RÁPIDA Y PERFECTA ES PRECISO SUMINISTRAR COMO AIRE PRIMARIO QUE VARÍE DE 5 A 30% COMO MÁXIMO; PASANDO ESTE LÍMITE, LA IGNICIÓN SE TORNA DEFECTUOSA Y LAS FLAMAS LARGAS, LO CUAL HACE NECESARIO UN VOLUMEN DE COMBUSTIÓN ELEVADO LO QUE OCASIONA TEMPERATURAS BAJAS.

CON EL PROPÓSITO DE OBTENER VELOCIDADES TANGENCIALES MAYORES EN EL HORNO CICLÓNICO, SE EMPLEÓ EN UNA FASE DE LAS PRUEBAS UN TUBO DE 1/8 PULG, PARA EL CUAL SE TENÍA UN POCO MÁS DE FLEXIBILIDAD PARA VARIAR AIRE PRIMARIO, SECUNDARIO Y CARGA ALIMENTADA SEGÚN LOS REQUERIMIENTOS

DE LA COMBUSTIÓN Y ENCONTRAR EN FORMA EXPERIMENTAL LA CARGA MÁS ADECUADA DE CARBÓN PULVERIZADO AL HORNO.

EL PROCEDIMIENTO SEGUIDO PARA CALIBRAR EL GUSANO ALIMENTADOR FUE EL SIGUIENTE: SE CARGÓ LA TOLVA CON UNA CANTIDAD DE CARBÓN, SE PASÓ UNA CORRIENTE DE AIRE POR EL TUBO DONDE EL CARBÓN CAÍA DESCARGADO POR EL GUSANO ALIMENTADOR (ESTA CANTIDAD DE AIRE DEBÍA SER LA CANTIDAD QUE PREVIAMENTE SE ENCONTRÓ AL HACER LAS PRUEBAS DE ARRASTRE Y QUE CORRESPONDIÓ A UN FLUJO DE 35 PIE/SEG. SE ECHÓ A ANDAR EL MOTOR, QUE ACCIONABA EL GUSANO, PARA UN NÚMERO DE REVOLUCIONES DADO Y EL MATERIAL QUE EMPEZABA A DESCARGAR EN EL TUBO DE ARRASTRE ERA TRANSPORTADO POR EL AIRE QUE ESTABA PASANDO (ESTE AIRE SE MIDió MEDIANTE UN ORIFICIO) CON DIRECCIÓN A UN CICLÓN COLECTOR EN DONDE EL CARBÓN ERA RECOGIDO.

LA OPERACIÓN DURABA UN MINUTO, TIEMPO AL CUAL EL AIRE Y EL MOTOR SE PARABAN, PESANDO EL CARBÓN RECOGIDO EN EL CICLÓN COLECTOR Y MULTIPLICANDO POR 60 MINUTOS SE OBTENÍA LA ALIMENTACIÓN POR UNA HORA.

ESTA OPERACIÓN SE REPITIÓ PARA CADA SERIE DE REVOLUCIONES DEL MOTOR.

A CONTINUACIÓN SE VE LA FORMA EN QUE QUEDÓ CALIBRADO EL GUSANO PARA LAS REVOLUCIONES DEL MOTOR Y PARA LAS FRACCIONES -200 Y -150.

MOTOR (R.P.M.)
35
43
51
60
71
83
98
115
135
160
198
230

MOTOR (R.P.M.)
35
43
51
60
71
83
98
115
135
160
198
230

C. - OPER

ERTANDO

EXPERIMENTALIZADO

PARA EL
CARGO
SE PASÓ
EL CAR-
GADOR
CANTIDAD
PRUE-
FLUJO
R, QUE
EVOLU-
A DES-
PORTADO
RE SE
A UN
COGIDO.

PO AL
AD EL
MULTI-
MENTA-
SERIE
QUEDÓ
S DEL

FRACCIÓN -200 MALLAS

MOTOR (R.P.M.)	G/MIN	G/H
35	6	300
43	8	480
51	10.8	648
60	12.2	733
71	14.5	870
83	17.5	1050
98	18.5	1110
115	23.5	1416
135	24.0	1740
160	32.0	1920
198	38.7	2330
230	49.0	2850

FRACCIÓN -150 MALLAS

MOTOR (R.P.M.)	G/MIN	G/H
35	10	600
43	12.4	745
51	15.0	900
60	18.6	1115
71	20.6	1230
83	24.2	1420
98	29.1	1750
115	32.8	1970
135	39.6	2380
160	43.5	2620
198	56.2	3380
230	64.1	3850

C.- OPERATORIA.

ESTANDO YA CALIBRADO EL ALIMENTADOR SE COLO-

CÓ EL MOTOR EN EL NÚMERO DE REVOLUCIONES PARA LAS CUALES SE TENÍA LA ALIMENTACIÓN REQUERIDA EN EL HORNO DE CICLÓN; LA LÍNEA DE AIRE DE ARRASTRE, COMO YA SE EXPLICÓ, PRODUCÍA UNA PRESIÓN ESTÁTICA QUE EMPUJABA EL MATERIAL DE LA TOLVA, ABIERTA A LA ATMÓSFERA, POR LO QUE SE TRATÓ DE INTRODUCIR POR LA PARTE SUPERIOR DE LA MISMA, AIRE DERIVADO DE LA LÍNEA DE AIRE PRIMARIO HACIENDO ARREGLOS QUE PERMITIERAN TENER UNA PRESIÓN ESTÁTICA LIGERAMENTE SUPERIOR, ARRIBA DE LA TOLVA, QUE EN LA SALIDA DEL GUSANO ALIMENTADOR. EL TUBO DE 3/8 PULG. A DONDE EL CARBÓN CAÍA PARA SER ARRASTRADO HACIA EL HORNO, DESCARGABA A LA CÁMARA CICLÓNICA CONCÉNTRICAMENTE A UN TUBO DE 2 PULG (POSTERIORMENTE SE CAMBIÓ A 3/4 PULG CON OBJETO DE AUMENTAR LA VELOCIDAD TANGENCIAL) QUE ES POR DONDE PASABA LA MEZCLA DE AIRE-GAS DE PRECALENTAMIENTO DE LA CÁMARA Y QUE SERVÍA POSTERIORMENTE COMO CONDUCTO DE AIRE SECUNDARIO.

SIENDO LA TEMPERATURA DE IGNICIÓN DE LA ANTRACITA (SEGUN LA LITERATURA) DE 700°C, EL HORNO SE PRECALENTÓ SIEMPRE A UNA TEMPERATURA ARRIBA DE 800°C PENSANDO QUE DADO LA SUPERFICIE TAN GRANDE DE CARBÓN EXPUESTA POR EL TAMAÑO DE PARTÍCULA TAN PEQUEÑO, CASI INSTANTÁNEAMENTE SE LLEGARÍA A LA TEMPERATURA DE IGNICIÓN DE DONDE LA COMBUSTIÓN SEGUIRÍA POR SI SOLA SIN FUENTE DE CALOR EXTERNA.

SE TENDIÓ SIEMPRE A PRECALENTAR EL HORNO A TEMPERATURAS CADA VEZ MÁS ALTAS CON OBJETO DE ALCANZAR MÁS RAPIDAMENTE EL PUNTO DE IGNICIÓN, ASI COMO PARA AUMENTAR LA RAPIDEZ DE COMBUSTIÓN DEL MISMO.

UNA VEZ QUE EL HORNO SE PRECALENTABA A LA TEMPERATURA DESEADA SE CORTABA EL GAS DEJANDO

EL VENTILADOR, A LA CANTIDAD DE CARBÓN QUE SE ALIMENTARON EL ALIMENTADOR Y LA CANTIDAD DE AIRE PRIMARIO.

SE HICIERON MUESTRAS DE LOS GASES Y DE LAS CENizas.

POR MEDIO DE LAS MUESTRAS SE OBSERVÓ LA CANTIDAD DE CARBÓN QUE SE ALIMENTABA AL HORNO Y LA CANTIDAD DE AIRE PRIMARIO QUE SE NECESABA PARA LA COMBUSTIÓN.

LOS FLUJOS DE AIRE PRIMARIO Y SECUNDARIO ASI COMO EL FLUJO DE GASES Y DE CENizas SE MEDIERON CON UN FLUJÓMETRO DE HUBER.

LAS CENizas SE ANALIZARON EN EL LABORATORIO DE INVESTIGACIONES Y SE ENCONTRÓ QUE LAS CENizas DEBÍAN DE SER TRABAJADAS EN EL HORNO INFERIOR DEL HORNO DE TRABAJO DESMONTABLE, CON UN VENTILADOR DE AIRE PRIMARIO.

DURANTE LAS PRUEBAS SE OBSERVÓ QUE POR CORRIDA DE AIRE PRIMARIO SE QUE LAS CENizas SE CALOR LIBERARON (LO MENOS) LA TEMPERATURA DE ANALISIS POSTERIOR A LA COMBUSTIÓN NO SE INCREMENTÓ.

UNA Y OTRAS PRUEBAS SE OBSERVÓ QUE LA CANTIDAD DE AIRE PRIMARIO QUE SE NECESABA FUE NOTORIAMENTE MENOR QUE LA QUE SE NECESABA EN LAS PRUEBAS ANTERIORES.

SE OBSERVÓ QUE LAS CENizas SE ANALIZARON CON UN FLUJÓMETRO DE HUBER.

EL VENTILADOR, PERO SE BAJABA EL FLUJO DE AIRE-
A LA CANTIDAD REQUERIDA SEGUN LA CARGA DE CARBÓN
QUE SE ALIMENTABA AL CICLÓN, SE PONÍA A FUN-
CIONAR EL ALIMENTADOR DE GUSANO ACCIONADO POR
EL MOTOR Y LA CORRIDA EMPEZABA.

SE HICIERON VARIAS PRUEBAS DE UNA HORA, TO-
MANDO ALGUNAS VECES A INTERVALOS DETERMINADOS,
MUESTRAS DE LOS GASES DE SALIDA DEL HORNO.

POR MEDIO DE UN TERMOPAR CHROMEL-ALUMEL SE
OBSERVAN LAS VARIACIONES DE TEMPERATURA A LO
LARGO DE LA CORRIDA.

LOS FLUJOS DE AIRE PRIMARIO, SECUNDARIO,
ASI COMO EL FLUJO DE GAS SE CONTROLABAN POR ME-
DIO DE MEDIDORES DE ORIFICIO.

LAS CENIZAS, QUE EN TODO CASO, EN FORMA RÁ-
PIDA Y DIRECTA, DAN IDEA DE LA MANERA QUE ESTÁ
TRABAJANDO EL HORNO, SE RECOLECTAN EN LA PARTE
INFERIOR DEL HORNO EN UN RECEPTÁCULO DE FIERRO,
DESMONTABLE, CON OBJETO DE ANALIZARLAS.

DURANTE LAS PRUEBAS SE HICIERON LAS SI-
GUIENTES OBSERVACIONES: DESCENSO DE 100 A 150°C
POR CORRIDA DE UNA HORA; APRIORI PODRÍA SUPONER-
SE QUE LAS CARGAS DE CARBÓN ERAN PEQUEÑAS Y QUE
EL CALOR LIBERADO NO ALCANZABA A MANTENER (POR
LO MENOS) LA TEMPERATURA DEL HORNO, SIN EMBARGO
ANÁLISIS POSTERIORES DE CENIZAS Y GASES DE COM-
BUSTIÓN NOS INDICARON UNA COMBUSTIÓN INADECUADA.

UNA Y OTRA VEZ DURANTE LAS PRUEBAS SE OB-
SERVÓ QUE LA ALIMENTACIÓN DE CARBÓN AL HORNO
FUE NOTORIAMENTE DISCONTINUA.

SE OBSERVÓ ASI MISMO, QUE PARA LAS PRUEBAS
HECHAS CON PARTÍCULAS MÁS GRANDES DE CARBÓN

(-150 MALLAS) EL GUSANO ALIMENTADOR Y LA TOLVA
TRABAJABAN EN FORMA EFICIENTE.

Y LA TOLVA

V.- EVALUACION DE RESULTADOS

LOS RESULTADOS QUE SE HAN OBTENIDO SON UN TANTO AMBIGUOS Y NO SE PUEDEN CONSIDERAR PERFECTOS, DEBIDO PRINCIPALMENTE A DIFICULTADES MECÁNICAS DE ALIMENTACIÓN DE CARBÓN, A LAS CARGAS DE COMBUSTIBLE ALIMENTADAS, TAN PEQUEÑAS, A LAS CUALES CON EL AIRE NECESARIO PARA SU COMBUSTIÓN, NO SE LES PODÍAN IMPRIMIR ALTAS VELOCIDADES TANGENCIALES DE ENTRADA PORQUE ESO IMPLICARÍA INTRODUCIR UN GRAN EXCESO DE AIRE QUE DIFICULTARÍA AÚN MÁS LA OPERACIÓN DEL CICLÓN, PROYECTANDO LA LLAMA MUY AFUERA DE LA BOCA DEL QUEMADOR, DEBILITANDO LA RAPIDEZ DE LA IGNICIÓN Y AÚN EXTINGUIENDO LA FLAMA, ADEMÁS DE BAJAR EN FORMA MÁS PRONUNCIADA LA TEMPERATURA.

SE PUDO COMPROBAR LA DIFICULTAD DE LA ANTRACITA PARA ENTRAR EN IGNICIÓN, ENTRE OTRAS POR NO HABERSE PRECALENTADO EL AIRE SECUNDARIO.

EN TODAS LAS PRUEBAS SE OBSERVÓ QUE LA COMBUSTIÓN DE LA ANTRACITA, PARA LAS CONDICIONES USADAS, NO ERA CAPAZ DE MANTENER LA TEMPERATURA DEL HORNO, ESTO, COMO ANTES SE EXPRESÓ, SE DEBE A LA CARGA TAN BAJA INTRODUCIDA Y A LA INEFICIENCIA DE LA COMBUSTIÓN DEBIDO A LA DISCONTINUIDAD DE LA ALIMENTACIÓN, FALTA DE PRECALENTAMIENTO DE AIRE SECUNDARIO, Y A LA CÁMARA TAN PEQUEÑA, PARA LA CUAL QUIZÁ DEBIERA EMPLEARSE TAMAÑO MÁS PEQUEÑO DE PARTÍCULA, SOBRE TODO SI NO SE MANEJAN LAS CENIZAS EN FORMA FUNDIDA, PUES LA CAPA LÍQUIDA QUE SE FORMARÍA EN LA PARED DEL CICLÓN

RETENDRÍA MÁS TIEMPO LAS PARTÍCULAS GRANDES PERMITIENDO UNA ESTANCIA MÁS PROLONGADA DE ÉSTA DENTRO DEL HORNO LLEGANDO DE ESTA MANERA HASTA SU TOTAL COMBUSTIÓN.

A PESAR DEL POCO ÉXITO EN CUANTO A RESULTADOS CUANTITATIVOS SE CONSIDERA QUE SE HAN OBTENIDO ALGUNOS DATOS DE VALOR Y SOBRE TODO EXPERIENCIA EN ALGUNOS ASPECTOS TÉCNICOS DE LA OPERACIÓN, QUE HAN DE SERVIR DE UTILIDAD EN CUANTO SE CONTINÚE LA INVESTIGACIÓN EN UNA UNIDAD MÁS GRANDE, PRÓXIMA A OPERARSE, MÁS AÚN CUANDO SE CUENTA YA CON LITERATURA Y ALGUNOS DATOS TÉCNICOS AL RESPECTO DE ALGUNAS CÁMARAS QUE EN ESCALA PILOTO ESTAN TRABAJANDO EN ALGUNOS LUGARES DE EUROPA.

PRUEBA No. 1

FRACCIÓN, -150 MALLAS.
CARGA DE CARBÓN AL CICLÓN, 4.4 LB = 2000 G
CARGA LIBRE DE CENIZAS, $4.4 - 4.4 \times 0.1552 = 3.71$ LB
MOTOR, 35 R.P.M.
REACCIÓN, $2C + O_2 \rightarrow 2CO$
AIRE TOTAL, 288 PIE³/HR
AIRE PRIMARIO (ARRASTRE) 172 PIE³/HR
AIRE SECUNDARIO, 116 PIE³/HR
VELOCIDAD DE ENTRADA AL HORNO DEL AIRE SECUNDARIO, 2 PIES/SEG
VELOCIDAD DEL AIRE PRIMARIO, 35 PIE /SEG
DIÁMETRO DEL TUBO EXTERIOR DEL QUEMADOR, 2 PULG
DIÁMETRO DEL TUBO INTERIOR DEL QUEMADOR, 3/8 PULG
TIEMPO DE LA PRUEBA, 40 MINUTOS.
CARBÓN ALIMENTADO, 1100 G
PESO DEL RESIDUO (CENIZAS), 370 G
CARBÓN EN EL RESIDUO, PORCIENTO, 63.7%
TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO DEL HORNO, 820°C
TEMPERATURA DEL HORNO AL FINAL DE LA CORRIDA, 765°C

CARBÓN PURO
PESO DEL CA
CARBÓN SIN

CARBÓN QUEM

FRACCIÓN, -
CARGA DE CA
CARGA DE CA
=3.71 LB.
MOTOR, 35 R
REACCIÓN, C
AIRE TOTAL,
CÚBICOS POR
AIRE PRIMAR
AIRE SECUND
VELOCIDAD D
RIO, 5.35 P
VELOCIDAD D
DIÁMETRO DE
DIÁMETRO DE
TIEMPO DE L
CARBÓN ALIM
PESO DEL RE
CARBÓN EN E
TEMPERATURA
TEMPERATURA
730°C
CARBÓN PURO
PESO DEL CA
CARBÓN SIN

CARBÓN QUEM

CARBÓN PURO ALIMENTADO, $1100 - (1100 \times 0.1552) = 9300$ g
PESO DEL CARBÓN EN EL RESIDUO, $370 \times 0.637 = 236$
CARBÓN SIN QUEMAR, PORCIENTO, $\frac{236 \times 100}{9300} = 25.4$
CARBÓN QUEMADO, PORCIENTO, 74.6

PRUEBA No. 2

FRACCIÓN, -150 MALLAS
CARGA DE CARBÓN AL HORNO, 4.4 LB = 2000 g
CARGA DE CARBÓN LIBRE DE CENIZAS, $4.4 - 4.4 \times 0.1552 = 3.71$ LB.
MOTOR, 35 R.P.M.
REACCIÓN, $C + O_2 \longrightarrow CO_2$
AIRE TOTAL, 578 PIE³/HR + 20% EXCESO = 693 PIES CÚBICOS POR HORA.
AIRE PRIMARIO (ARRASTRE), 172 PIE³/HR
AIRE SECUNDARIO, 521 PIE³/HR
VELOCIDAD DE ENTRADA AL HORNO DEL AIRE SECUNDARIO, 5.35 PIE/SEG
VELOCIDAD DEL AIRE PRIMARIO, 35 PIE/SEG
DIÁMETRO DEL TUBO EXTERIOR DEL QUEMADOR, 2 PULG
DIÁMETRO DEL TUBO INTERIOR DEL QUEMADOR, 2/8 PULG
TIEMPO DE LA PRUEBA, 35 MINUTOS
CARBÓN ALIMENTADO, 1080 g
PESO DEL RESIDUO (CENIZAS), 432.8 g
CARBÓN EN EL RESIDUO, PORCIENTO, 51.4
TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO DEL HORNO, 845°C
TEMPERATURA DEL HORNO AL FINAL DE LA CORRIENTE, 730°C
CARBÓN PURO ALIMENTADO, $1080 - (1080 \times 0.1552) = 913$ g
PESO DEL CARBÓN EN EL RESIDUO, $432 \times 0.514 = 223$ g
CARBÓN SIN QUEMAR, PORCIENTO, $\frac{223}{913} \times 100 = 24.3$
CARBÓN QUEMADO, PORCIENTO, 75.7

PRUEBA No. 3

EN LAS PRUEBAS TRES Y CUATRO SE METIÓ AL HORNO UNA CARGA DE CARBÓN EQUIVALENTE A 16,500 BTU/HR PIE³.

FRACCIÓN, -150 MALLAS.

CARGA DE CARBÓN AL HORNO, 1.65 LB = 754 g

CARGA DE CARBÓN LIBRE DE CENIZAS, $1.65 - 1.65 \times 0.1552$
= 1.40 LB

MOTOR, 43 R.P.M.

REACCIÓN, $C + O_2 \rightarrow CO_2$

AIRE TOTAL, $281 \text{ PIE}^3/\text{HR} + 10\% = 301 \text{ PIE}^3/\text{HR}$

AIRE PRIMARIO, $72 \text{ PIE}^3/\text{HR}$

AIRE SECUNDARIO, $229 \text{ PIE}^3/\text{HR}$

VELOCIDAD DE ENTRADA AL HORNO DEL AIRE SECUNDARIO, 20.7 PIE/SEG

VELOCIDAD DEL AIRE PRIMARIO, 50 PIE /SEG

DIÁMETRO DEL TUBO EXTERNO DEL QUEMADOR, 3/4 PULG

DIÁMETRO DEL TUBO INTERIOR DEL QUEMADOR, 1/8 PULG

TIEMPO DE LA PRUEBA, 60 MINUTOS

GRAMOS DE CARBÓN ALIMENTADO (LIBRE DE CENIZAS):
536

CARBÓN ALIMENTADO, 634 g

CARBÓN EN EL RESIDUO, PORCIENTO, 65%

TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO DEL HORNO, 920°C

TEMPERATURA DEL HORNO AL FINAL DE LA CORRIDA,
710°C

CARBÓN EN EL RESIDUO, PESO, $213 \times 0.65 = 25.7$

CARBÓN QUEMADO, PORCIENTO, 74.3

PRUEBA No. 4

FRACCIÓN, -200 MALLAS

CARGA DE CARBÓN AL HORNO, 733 = 1.61 LB

CARGA DE CARBÓN LIBRE DE CENIZAS, $733 - 733 \times 0.1552$
= 619 g

MOTOR, 60 R.P.M.

REACCIÓN, $C + O_2 \rightarrow CO_2$

AIRE TOTAL, $212 \text{ PIE}^3/\text{HR} + 10\% = 233 \text{ PIE}^3/\text{HR}$

DIÁMETRO DEL
TIEMPO DE LA
PESO DEL RES
CARBÓN EN EL
TEMPERATURA
TEMPERATURA
900°C.
CARBÓN EN EL
CARBÓN QUEMA

DIÁMETRO DEL TUBO INTERIOR DEL QUEMADOR, 1/8 PULG
TIEMPO DE LA PRUEBA, 60 MINUTOS.

PESO DEL RESIDUO, 106.3 g.

CARBÓN EN EL RESIDUO, PORCIENTO, 19.

TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO DEL HORNO, 1060°C.

TEMPERATURA DEL HORNO AL FINAL DE LA CORRIDA,
900°C.

CARBÓN EN EL RESIDUO, PESO $106.3 \times 0.19 = 20.2$ g.

CARBÓN QUEMADO, PORCIENTO, 96.73.

VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

EL NÚMERO DE PRUEBAS QUE SE EFECTUARON FUE RELATIVAMENTE BAJO DEBIDO A QUE EL OBJETO PRIMARIO DE ESTE ESTUDIO ERA RESOLVER LOS PROBLEMAS DE TIPO OPERACIONAL, PRINCIPALMENTE ALIMENTACIÓN DEL CARBÓN Y EL MANEJO DEL HORNO.

EL PROBLEMA DE ALIMENTACIÓN SOLO SE SOLUCIONÓ EN PARTE, NOTÁNDOSE QUE PARA LA COMBUSTION DE CARBÓN PULVERIZADO ES INDISPENSABLE UNA ALIMENTACIÓN UNIFORME A LA SALIDA DEL QUEMADOR, COMO ESTO NO SUCEDIÓ EN LA PRÁCTICA, PUEDE CONSIDERARSE EN FORMA ESTRICTA QUE LA ALIMENTACIÓN FUE UN TANTO DEFECTUOSA, POR LO QUE LOS RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS DEBEN TOMARSE CON CIERTA RESERVA.

NO OBSTANTE, ES EVIDENTE QUE LA COMBUSTIÓN SE MEJORA NOTABLEMENTE CUANDO SE EMPLEAN TAMAÑOS DE PARTÍCULA PEQUEÑOS, SIENDO ELLO DEBIDO A LA MAYOR RAPIDEZ DE COMBUSTIÓN QUE OCASIONA UNA REACCIÓN CASI TOTAL ENTRE LA PARTÍCULA Y EL OXÍGENO DEL AIRE, DANDO LUGAR A QUE LA TEMPERATURA BAJE EN FORMA LENTA (LA TEMPERATURA NO AUMENTA POR RAZONES EXCLUSIVAS DE CARGA), A PESAR DE QUE LOS CORPÚSCULOS DE CARBÓN TIENDEN A SALIR EN FORMA MUCHO MÁS RAPIDA FUERA DEL HORNO, DEBIDO AL TAMAÑO DE LAS MISMAS.

EL EMPLEO DE AIRE SECUNDARIO FRÍO ES INDESEABLE, PORQUE INFLUYE EN FORMA NOTABLE, DISMINUYENDO LA RAPIDEZ CON QUE LA PARTÍCULA DE CARBÓN

LLEGA A SU PUNTO DE IGNICIÓN YA QUE EL CALOR ABSORBIDO POR EL CARBÓN Y EL AIRE PRIMARIO AL ENTRAR AL HORNO ES INMEDIATAMENTE CEDIDO POR CONVECCIÓN A LA MASA DE AIRE SECUNDARIO, LO QUE OCASIONA UN DESCENSO EN LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA QUE ASÍ NECESITA MÁS TIEMPO PARA LLEGAR A LA TEMPERATURA EN QUE LA COMBUSTIÓN EMPIEZA (POR ESTA RAZÓN SE RECOMIENDA ALIMENTAR UN 60% DE CARBÓN JUNTO CON EL AIRE SECUNDARIO EN UNA ZONA EN QUE LA MEZCLA DE AIRE PRIMARIO Y CARBÓN YA HAN LLEGADO A UNA COMBUSTIÓN PARCIAL, CON EL PROPÓSITO DE QUE LOS GASES CALIENTES AYUDEN A LA IGNICIÓN DEL COMBUSTIBLE QUE SE INYECTE), EN ESTAS CONDICIONES PUEDE PENSARSE QUE CUANDO LA COMBUSTIÓN SE INICIA YA LA PARTÍCULA ESTÁ A PUNTO DE SALIR FUERA DEL CICLÓN, SIENDO POR TANTO INDISCUTIBLE LA NECESIDAD DEL EMPLEO DE AIRE SECUNDARIO PRECALENTADO (A 500 Ó 600°C), NO SOLO PARA CICLONES TAN PEQUEÑOS COMO EN EL QUE LAS PRUEBAS SE EFECTUARON, SINO AÚN EN CICLONES DE DIMENSIONES MAYORES.

ES DEFINITIVO QUE EN TOLVAS CON DISEÑO INADECUADO SE PRODUCEN OBSTRUCCIONES DE MATERIAL, FORMANDO ARCOS DENTRO DE LA TOLVA QUE IMPIDEN LA ALIMENTACIÓN EN FORMA CONTINUA (EN EL ÍMIT, SE ESTA ENSAYANDO UN DISEÑO ESPECIAL DE TOLVAS QUE AL PARECER ESTÁ DANDO RESULTADOS SATISFACTORIOS).

DEBE CONSIDERARSE LA POSIBILIDAD DE INTRODUCIR AIRE EN PUNTOS QUE PUDIERAN AYUDAR MÁS A LA COMBUSTIÓN CUANDO ÉSTA ES YA AVANZADA Y LA CARENCIA DE OXÍGENO ES NOTORIA. SE HACE NECESARIA ESTA INTRODUCCIÓN DE AIRE, SOBRE TODO, SI SE PIENSA QUE EL AIRE DE COMBUSTIÓN NO ACOMPAÑA A LA PARTÍCULA EN TODO SU TRAYECTO SINO QUE TIENDE A ESCAPAR POR EL TUBO DE SALIDA DE GASES TAN PRONTO COMO LA FUERZA CENTRÍFUGA SE LE TERMINE.

Es RECOMENDABLE UN
LUMEN, PARTÍCULA
SIBLE (40 M
PIDEZ DE CO

LA CÁMARA
ACEPTABLE PARA
LA PARTÍCULA
TICO LLEGUE
QUE ES ALRE

SE RECOMIENDA
RE DE ARRAS
10% CON OBJE
MÁS FÁCILMEN
SIEMPRE CON

SE DEBE
CIAL AL HORNO
EL PROPÓSITO
CIAS DE STAR
LA VELOCIDAD
CIA CICLÓNICA

SI LAS
FUNDIDA SE
HACIA UNA CI
400 000 RTU/

Es RECOMENDABLE
CARBÓN UN PO
PRIMARIO Y D
MENTE, PORQUE
CIÓN DEL CO
NO SOLO HABR
PARTÍCULA, S
POR CONVECCI

ES RECOMENDABLE USAR, EN FORNOS DE POCO VOLUMEN, PARTÍCULAS DE FRACCIÓN LO MÁS PEQUEÑA POSIBLE (40 MICRAS) CON OBJETO DE AUMENTAR LA RAPIDEZ DE COMBUSTIÓN.

LA CÁMARA DEBERÁ PRECALENTARSE A UN GRADO ACEPTABLE PARA QUE LA TRANSFERENCIA DE CALOR A LA PARTÍCULA SEA MÁS RAPIDA Y EL CARBÓN ANTRACÍTICO LLEGUE RAPIDAMENTE A SU PUNTO DE IGNICIÓN QUE ES ALREDEDOR DE 700°C.

SE RECOMIENDA DISMINUIR EL PORCIENTO DE AIRE DE ARRASTRE A CANTIDADES DEL ORDEN DE 5% A 10% CON OBJETO DE ALCANZAR EL PUNTO DE IGNICIÓN MÁS FÁCILMENTE Y LAS TOLVAS DEBERÁN TRABAJARSE SIEMPRE CON AIRE DE CONTRAPRESIÓN (BALANCE).

SE DEBE AUMENTAR EL ÁREA DE ENTRADA, TANGENCIAL AL HORNO, DE LA MEZCLA DE COMBUSTIBLE CON EL PROPÓSITO DE TOMAR EN CUENTA LAS EXPERIENCIAS DE STARMAND QUE DICE QUE LA EFECTIVIDAD DE LA VELOCIDAD DE ENTRADA PARA PRODUCIR TURBULENCIA CICLÓNICA ES FUNCIÓN INVERSA DE LA RELACIÓN:

$$\frac{\text{SUPERFICIE INTERNA DEL CICLÓN}}{\text{ÁREA DE ENTRADA DE AIRE}}$$

SI LAS CENIZAS HAN DE OBTENERSE EN FORMA FUNDIDA SE DEBERÁ AUMENTAR LA CARGA DE CARBÓN HACIA UNA CIFRA QUE DÉ UN VALOR ALREDEDOR DE 400 000 BTU/PIE³HR.

ES RECOMENDABLE INYECTAR LA MAYOR PARTE DEL CARBÓN UN POCO DESPUÉS DE QUE LA MEZCLA DE AIRE PRIMARIO Y DE CARBÓN HAYA SIDO QUEMADA PARCIALMENTE, PORQUE DE ESA MANERA SE AYUDARÁ A LA IGNICIÓN DEL COMBUSTIBLE QUE SE INTRODUCE, YA QUE NO SOLO HABRÁ TRANSFERENCIA DE LAS PAREDES A LA PARTÍCULA, SINO QUE ADEMÁS LOS GASES CALIENTES, POR CONVECCIÓN, DARÁN ENERGÍA A LA CARGA, DISMI-

NUYENDO ASÍ EL TIEMPO EN EL QUE SE PUEDE LLEGAR
AL PUNTO DE IGNICIÓN.

$K = \frac{(CO)}{CO_2}$

LEGAR

FIG. 1

Variación de la constante de equilibrio con la temperatura

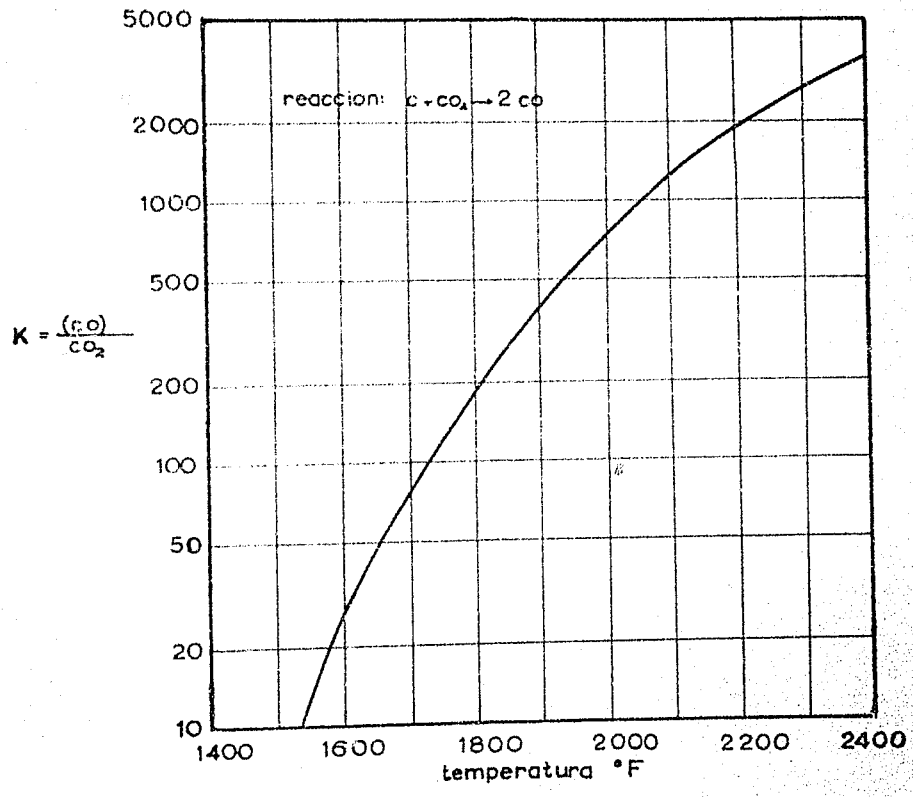


FIG. 2

VARIACION DE LAS PROPORCIONES DE MONOXIDO
Y BIXIDO DE CARBONO CON LA TEMPERATURA
EN EQUILIBRIO.

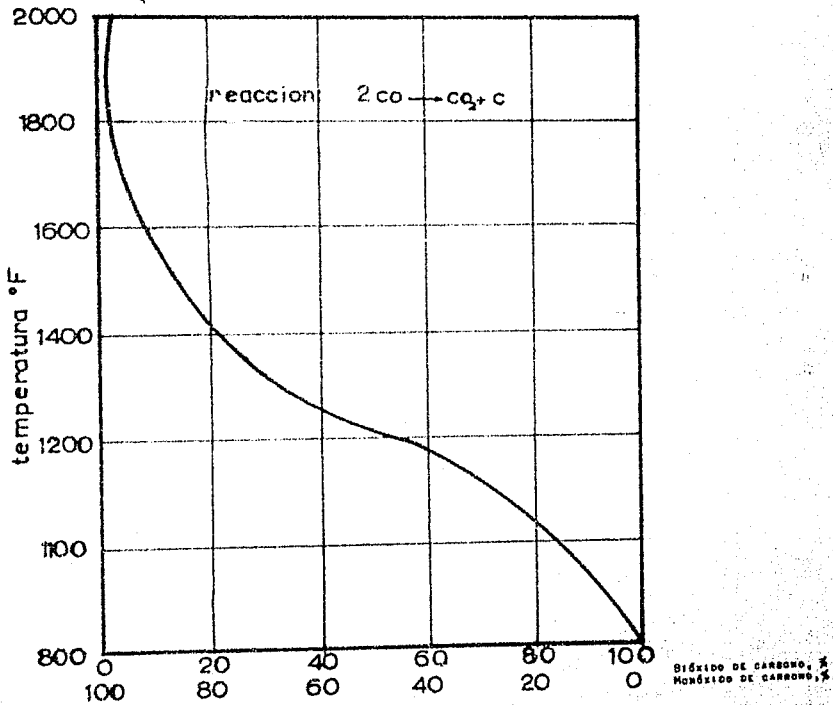


FIG 3

Variacion de la constante de equilibrio con la temperatura

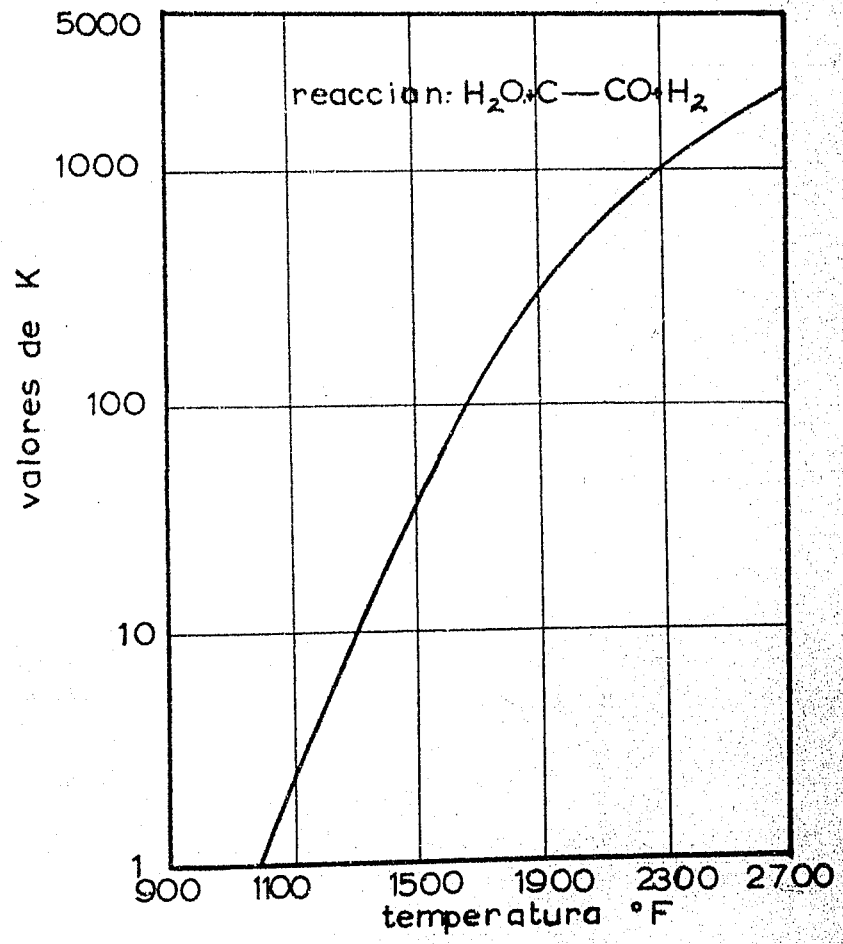


FIG 4

MONOXIDO DE CARBONO FORMADO, POR CIENTO,
 A PARTIR DE LA REDUCCION DE BIOXIDO DE
 CARBONO CON VARIOS TIPOS DE CARBON AL
 CONTACTO DE UN SEGUNDO A DIFERENTES TEM-
 PERATURAS.

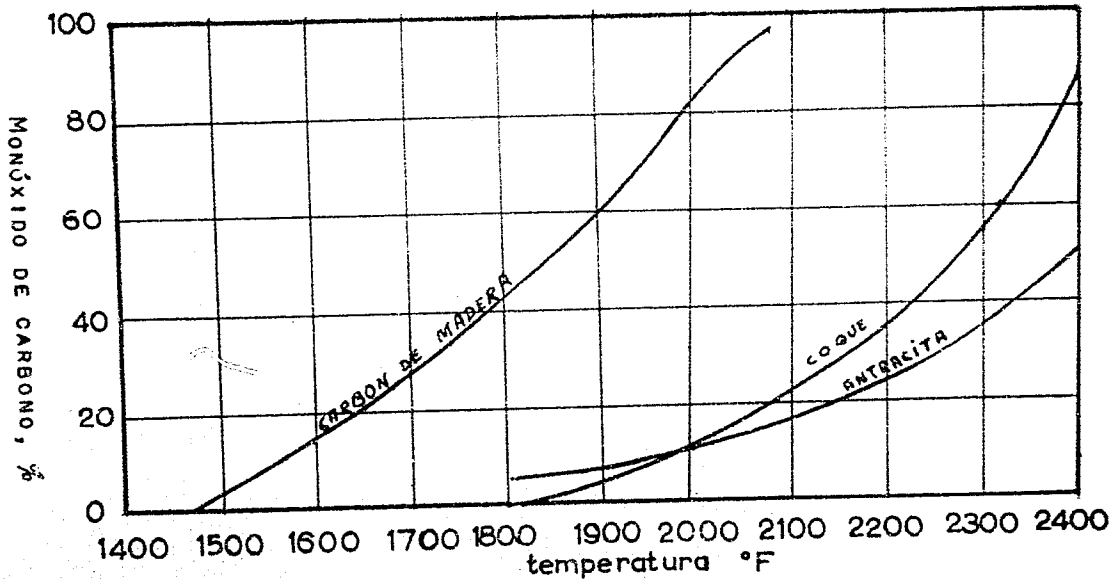


FIG 5

Relacion entre velocidad de reaccion
porciento de combustion

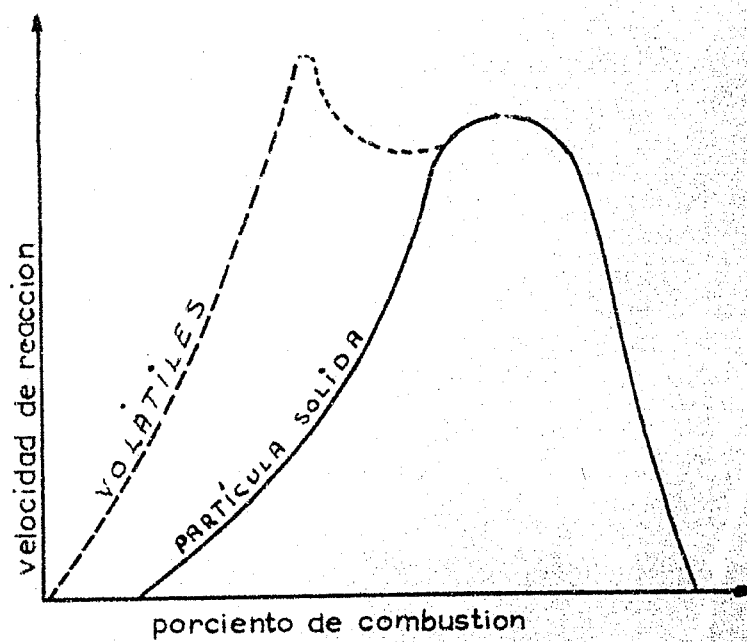


FIG 6

Curva que nos indica la variacion de las velocidades de reaccion en funcion de cantidades de aire

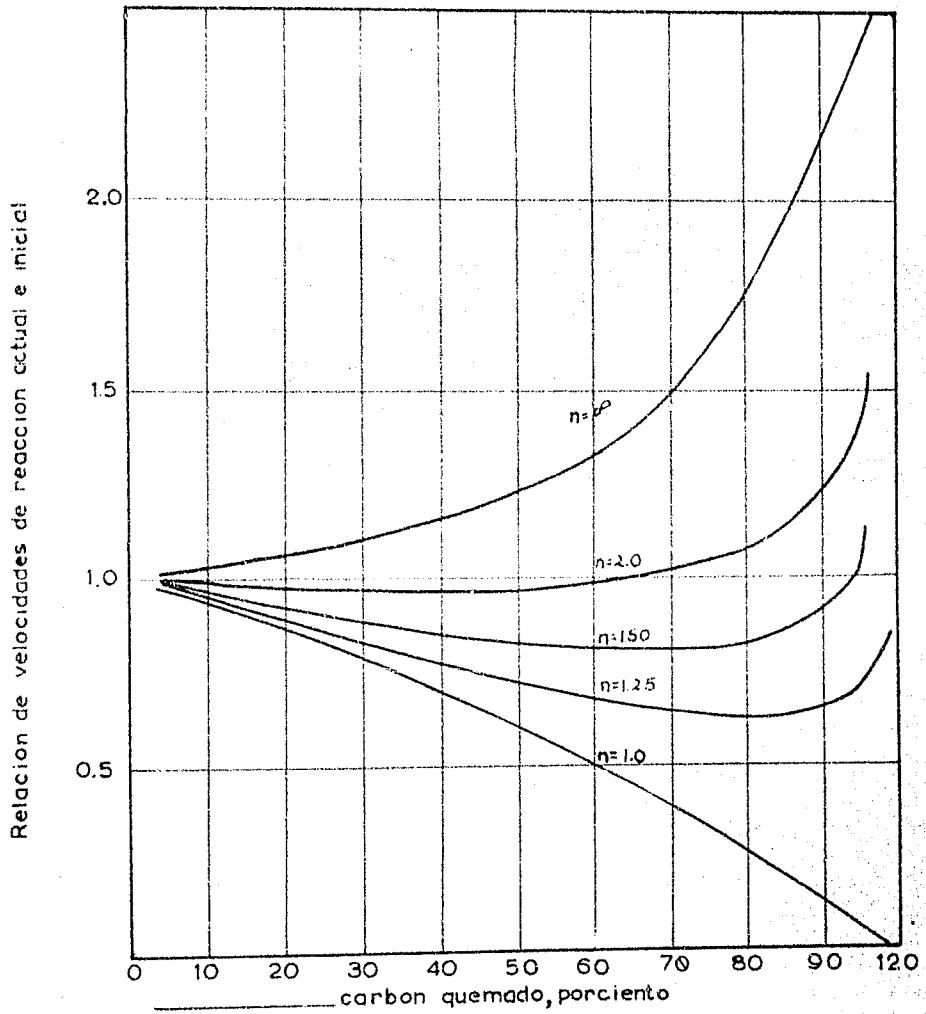
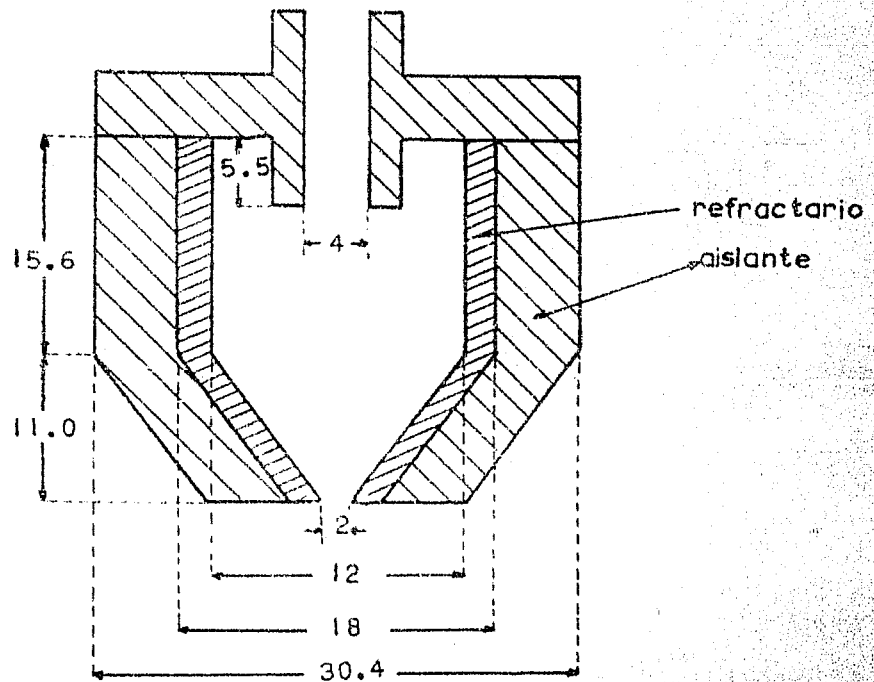


FIG 7

Esquema de la cámara de combustión
donde se efectuaron las pruebas



LAS MEDIDAS ESTÁN EN PULGADAS.

Volumen del ciclón 1.24 pie³

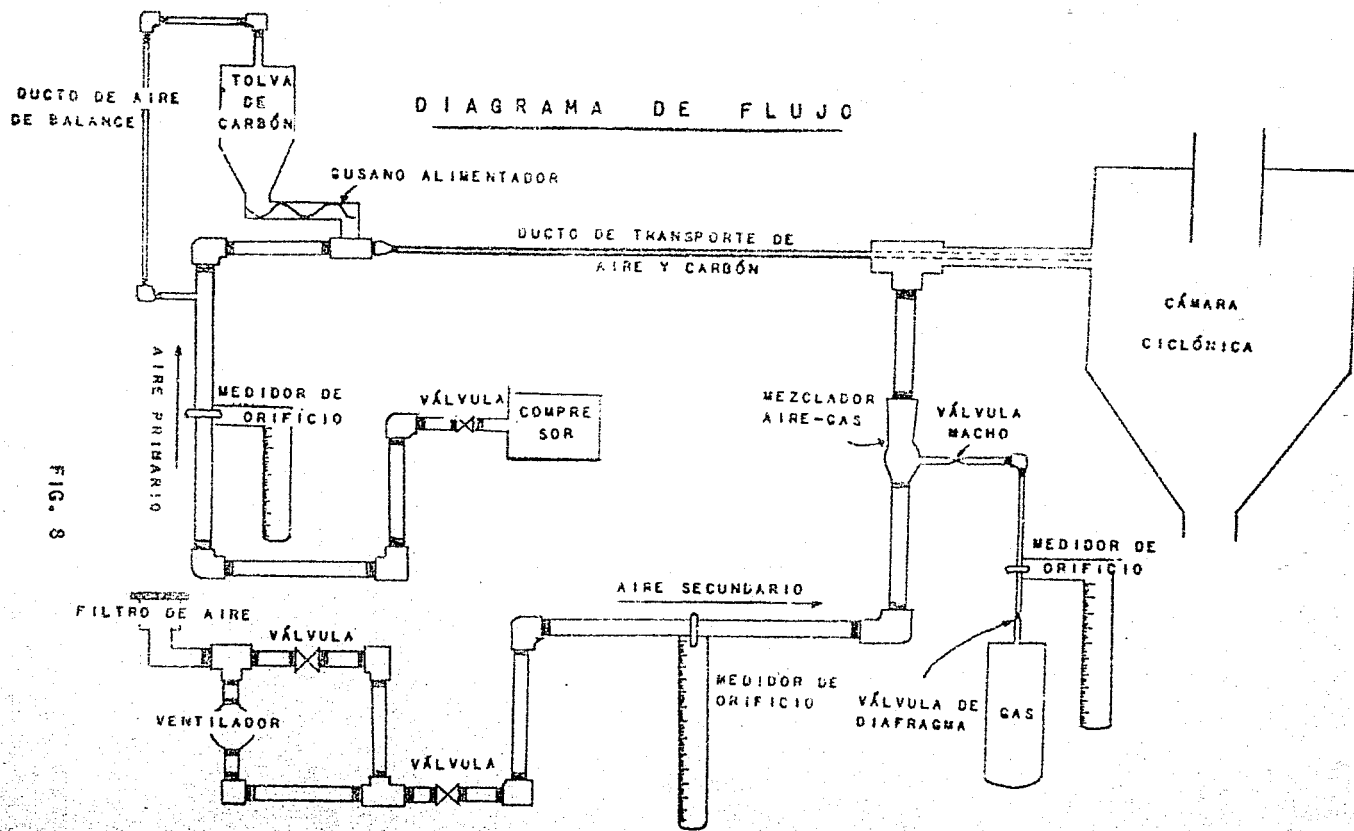


FIG. 8

VII.- BIBLIOGRAFIA