

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y
METALÚRGICA
POSGRADO: MINERIA Y MEDIO AMBIENTE



OPTIMIZACION DE PEQUEÑOS HORNOS CUBILOTE
MEDIANTE EL CONTROL DE AIRE INYECTADO PARA
PRODUCCIONES AMBIENTALMENTE LIMPIAS

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO PROFESIONAL

MAGISTER

PRESENTADO POR:

Adrián Valentín Gómez Mandujano

LIMA, PERÚ

2010

Dedicatoria

A los amores de mi vida, mi esposa Elvira
y mis hijos Diana Gabriela y Juan Carlos.

A mis padres y hermanos por su cariño y
apoyo incondicional en las diferentes
etapas de mi vida.

Agradecimiento

Expreso de manera especial mi gratitud a mis asesores Ingenieros MSc. Edwilde Yoplac Castromonte y Dra. Orfelinda Avalo Cortez por sus sugerencias y aportes al desarrollo del presente trabajo.

RESÚMEN

OPTIMIZACIÓN DE PEQUEÑOS HORNOS CUBILOTE MEDIANTE EL CONTROL DE AIRE INYECTADO PARA PRODUCCIONES AMBIENTALMENTE LIMPIAS

La valoración del volúmen de aire inyectado al horno cubilote de pequeñas dimensiones (diámetro interno menor de 0.3 m) permite conocer la cantidad ideal de aire a utilizar para obtener producciones ambientalmente limpias, ya que las emisiones de gases por la chimenea serán controladas. Generalmente los fundidores no toman en cuenta este parámetro. El control del volúmen nos da un régimen de fusión y este resultado es comparado con el peso del volúmen de aire inyectado el cual nos dara cantidad ideal a utilizar de volúmen de aire, como muchos autores lo indican. Si calculamos teóricamente los parámetros indicados serán la base para el mejor funcionamiento del horno, mitigando de esta manera la contaminación del aire, elevando la eficiencia de producción. Como se trata de un sistema para poca producción (1Tn aproximadamente), es ideal para zonas como el interior del país donde generalmente la industria agrícola, ganadera y artesanal lo requieren; también los recursos como es la chatarra de hierro de la zona será utilizada, creando nuevos puestos de trabajo apoyando a la descentralización. En resumen es calcular teóricamente el volúmen de aire ideal a utilizar para lograr producciones ambientalmente limpias de acuerdo a este parámetro.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF SMALL CUPOLA FURNANCES BY CONTROLLING AIR INJECTED FOR ENVIRONMENTALLY CLEAN PRODUCTION

The assessment of the volume of air injected into the small cupola furnace (inner diameter less than 0.3m) allows to know the ideal amount of air used to obtain environmentally clean production, and emissions of gases through the chimney will be controlled. Smelters, generally, do not take into account this parameter. The air volume control gives us a scheme of merger and this result is compared with the weight of the air volume injected which will give us an ideal number to use air volume, as many authors point out. If we calculate theoretically, the parameters listed are the basis for better functioning of the oven, thus alleviating air pollution, increasing production efficiency. As this is a little production system (1TN approximately), is ideal for areas like the inside of the country where the agricultural industry generally, livestock and craft required, and also resources such as iron scrap from the area will be used, creating new jobs to support decentralization. In sum is to calculate the volume of air theoretically ideal to use for achieving environmentally clean production according to this parameter.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Dedicatoria	
Agradecimiento	
Resumen	
Introducción	15
 CAPITULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Formulación del problema	19
1.2. Objetivo general	21
1.3. Objetivos específicos	21
1.4. Justificación	22
1.5. Hipótesis	23
 CAPITULO II :GENERALIDADES	
2.1. Antecedentes	24
2.2. Investigaciones relacionadas con la propuesta	26
2.3. Investigaciones relacionadas con el medio ambiente	28
 CAPITULO III: FUNDAMENTO TEORICO	

3.1. El horno cubilote	31
3.2. Fundamento teórico	34
3.3. Estudio Termodinámico	34
3.4. Estudio Cinético.	38
3.5. Referencias del parámetro aire	45
3.4.1. Referencia del problema ambiental	48
3.6. Marco Metodológico	
3.6.1. Tipo de investigación	62
3.6.2. Población y muestra	62
3.6.3. Relación entre variables	62
3.6.4. Técnicas de recolección de datos	63
3.6.5. Técnicas de análisis de datos	63

CAPITULO IV: LEVANTAMIENTO DE CALCULOS Y

CURVAS TEORICAS

4.1. Cálculos para la construcción del horno cubilote	68
4.2. Cálculo de carga	71
4.3. Cálculo termoquímico	76
4.4. Cálculo para encontrar el volumen de aire ideal a inyectar en el horno.	94
4.5. Resumen de los cálculos	101
4.6. Procedimiento para hallar el volumen de aire ideal	111
4.6.1. Valores de curvas de Jungbluth	111

4.6.2. Valores de curvas de Jungbluth seleccionados	112
4.6.3. Cálculos estadísticos realizados para obtener las curvas representativas	113
4.6.4. Resumen de ecuaciones de las curvas.	115
4.7. Valores finales de la relación de ecuaciones estadísticas con termoquímicas y peso de aire	118
4.8. Procedimiento experimental	119

CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Resultados de la práctica.	122
5.2. Resultados del cálculo termoquímico.	126
5.3. Comparación de valores teóricos con valores prácticos.	132
5.4. Cálculo del caudal del aire a partir de presión estática.	139
5.5. Pruebas metalográficas.	140
5.6. Discusión de resultados.	145

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES Y TRABAJOS

FUTUROS

6.1. Recomendaciones	148
6.2. Proposición de trabajos futuros	150

CONCLUSIONES	151
---------------------	-----

BIBLIOGRAFIA	153
ANEXOS	
• Términos y abreviaturas utilizadas	160
• Definiciones de términos	161
• Proposición fundición en la UNI	164
• Planos de horno a construir	175
• Gráficos trazados para la relación régimen de fusión con volumen de aire	184
• Gráficos trazados para la relación temperatura con régimen de fusión	192
• Fotografías de la practica realizada, y documentos presentados a la UNI para realizar la práctica	200

FIGURAS

Figura N°	Contenido	Pág.
1	Diagrama idealizado del comportamiento de los gases	29
2	Partes del horno cubilote en funcionamiento	33
3	Diagrama del trabajo propuesto	67
4	Horno proyectado por la tesis para la UNI	101
5	Gráfico de curva y recta de mínimos cuadrados	114
6	Partes y dimensiones del horno para la práctica	132
7	Partes y dimensiones del horno a construir en la UNI	171
8	Sistema completo de control de emisiones del horno	174
9	Gráfico de relación $Fe/C=10$ y $\varnothing=914$ para ecuación RegFusi-Volaire	185
10	Gráfico de relación $Fe/C=8$ y $\varnothing=914$ para ecuación RegFusi-Volaire	186
11	Gráfico de relación $Fe/C=8$ y $\varnothing=1067$ para ecuación RegFusi-Volaire	186
12	Gráfico de relación $Fe/C=8$ y $\varnothing=1219$ para ecuación RegFusi-Volaire	187
13	Gráfico de relación $Fe/C=8$ y $\varnothing=1676$ para ecuación RegFusi-Volaire	187
14	Gráfico de relación $Fe/C=10$ y $\varnothing=1067$ para ecuación RegFusi-Volaire	188
15	Gráfico de relación $Fe/C=10$ y $\varnothing=1219$ para ecuación RegFusi-Volaire	188
16	Gráfico de relación $Fe/C=10$ y $\varnothing=1676$ para ecuación RegFusi-Volaire	189
17	Gráfico de relación $Fe/C=12$ y $\varnothing=914$ para ecuación RegFusi-Volaire	190
18	Gráfico de relación $Fe/C=12$ y $\varnothing=1067$ para ecuación RegFusi-Volaire	190

19	Gráfico de relación Fe/C=12 y \emptyset =1219 para ecuación RegFusi-Volaire	191
20	Gráfico de relación Fe/C=12 y \emptyset =1676 para ecuación RegFusi-Volaire	191
21	Gráfico de relación Fe/C=10 y \emptyset =914 para ecuación Temp-RegFusi	193
22	Gráfico de relación Fe/C=8 y \emptyset =914 para ecuación Temp-RegFusi	194
23	Gráfico de relación Fe/C=8 y \emptyset =1067 para ecuación Temp-RegFusi	194
24	Gráfico de relación Fe/C=8 y \emptyset =1219 para ecuación Temp-RegFusi	195
25	Gráfico de relación Fe/C=8 y \emptyset =1676 para ecuación Temp-RegFusi	195
26	Gráfico de relación Fe/C=10 y \emptyset =1067 para ecuación Temp-RegFusi	196
27	Gráfico de relación Fe/C=10 y \emptyset =1219 para ecuación Temp-RegFusi	196
28	Gráfico de relación Fe/C=10 y \emptyset =1676 para ecuación Temp-RegFusi	197
29	Gráfico de relación Fe/C=12y \emptyset =914 para ecuación Temp-RegFusi	198
30	Gráfico de relación Fe/C=12 y \emptyset =1067 para ecuación Temp-RegFusi	198
31	Gráfico de relación Fe/C=12 y \emptyset =1219 para ecuación Temp-RegFusi	199
32	Gráfico de relación Fe/C=12 y \emptyset =1676 para ecuación Temp-RegFusi	199

TABLAS

Tabla N°	Contenido	Pág.
1	Resumen del calor neto del cambio químico	87
2	Contenido de calor en los gases	88
3	Dimensiones para la construcción del horno	102
4	Cálculo de carga para el horno	103
5	Balance térmico en el horno	104
6	Resumen para obtener el calor neto para el cambio químico	106
7	Contenido de calor de los gases de escape	107
8	Calor suministrado	107
9	Calor gastado	107
10	Análisis químico de los componentes de carga	108
11	Componentes de carga	109
12	Valores de la curva de Jungbuth para rel Fe/C , 8/1	111
13	Valores de la curva de Jungbuth para rel Fe/C , 10/1	111
14	Valores de la curva de Jungbuth para rel Fe/C , 12/1	111
15	Valores seleccionados de la curva de Jungbuth para rel Fe/C , 8/1	112
16	Valores seleccionados de la curva de Jungbuth rel Fe/C , 10/1	112
17	Valores seleccionados de la curva de Jungbuth rel Fe/C , 12/1	112
18	Valores para hallar la recta	113
19	Valores para hallar coeficiente de correlación lineal	114
20	Ecuaciones de rectas seleccionadas	115
21	Ecuaciones que relacionan la intersección , pendiente y rel Fe/C	116
22	Valores que relacionan ecuaciones estadísticas con termoquímicas y peso de aire	118

23	Valores calculados para la practica de fundición	127
24	Cálculo de carga para la practica	128
25	Cálculo termoquímico para la practica	129
26	Valores finales de rel. estadística, termoquímica peso aire y gases	130
27	Comparación de valores teóricos con prácticos	134
28	Clasificación de las chatarras de fundición	141
29	Dimensiones comparativas del horno de tesis con el existente en UNI	165
30	Presupuesto de la estructura de fierro para la construcción del horno	166
31	Otros gastos de fabricación	167
32	Presupuesto para revestimiento del horno	167
33	Cálculo de costo de producción	172
34	Informe de carga.	173

FOTOGRAFIAS

Foto N°	Contenido	Pág.
1	Horno cubilote utilizado en la práctica	133
2	Tubo de Pitot	138
3	Vista de grano a la fractura de material fundido	140
4	Taladrando material obtenido	140
5	Vista de tobera con gotas de hierro	143
6	Color de escoria	143
7	Fluidez de la escoria	144
8	Vista interior de horno enladrillado	201
9	Instalando el ventilador del horno	201
10	Prendiendo el horno	202
11	Puerta de encendido abierta	202
12	Emisiones gaseosas al prendido del horno	203
13	Preparando la carga de carbón	203
14	Preparando la carga de hierro	204
15	Sistema completo de prueba	204
16	Horno funcionando antes de primera picada	205
17	Primera picada del horno	205
18	Temperatura de colada	206
19	Fin de sangrado	206
20	Pieza fundida	207
21	Fin de fundición	207
22	Prueba de maquinabilidad	208
23	Hierro fundido con agujero de $\frac{1}{4}$ de pulg.	208

PLANOS

Plano N°	Contenido	Pág.
1	Partes del horno UNI a construir	176
2	Vista frontal del horno	177
3	Vista posterior del horno	178
4	Vista horizontal del horno	179
5	Mesa del horno	180
6	Forma de enladrillado del horno	181
7	Vista horizontal del enladrillado del horno	182
8	Mata chispas del horno	183

INTRODUCCIÓN

Los temas relacionados al medio ambiente han tomado gran fuerza e importancia en los últimos años no solo en Perú sino también a nivel mundial. La contaminación ambiental, el calentamiento global, la disminución de la capa de ozono, son la consecuencia de largos años de un inadecuado uso de los recursos naturales que poseemos y la poca conciencia ambiental que tenemos.

Hoy en día, nuestro país es mas consciente de los daños que ocasionamos a nuestro hábitat debido a ser particularmente vulnerable al cambio climático. Un estudio de la ONU nos recuerda que Perú es uno de los 10 países con mayor biodiversidad en el mundo y su alta complejidad y riqueza ecológica le añade un riesgo adicional.

En nuestra región el cambio climático amenaza, además, el progreso de la lucha contra la pobreza porque son las poblaciones con menos recursos las que sufrirán los efectos en salud, alimentación, falta de agua y

vulnerabilidad ante desastres por eventos naturales, lo que minará el camino hacia la mejora del desarrollo humano.

El presente trabajo resalta esa conciencia ambiental necesaria en los procesos de fundición. A lo largo de mis experiencias laborales he tenido particular interés por el horno cubilote, por lo que quise integrar en éste los conocimientos obtenidos en la maestría. Esto me trae a la necesidad de poner la base técnica para el horno cubilote pequeño cuyas características son expuestas.

El tema muestra las incidencias del funcionamiento del horno respecto al buen uso que se le debe dar al recurso volumen de aire inyectado al sistema, el cual nos trae como consecuencia la mejora en el rendimiento económico y la disminución de las emisiones, en el punto óptimo de reacción.

La utilización del horno cubilote pequeño propiciará la generación de empleo, en el interior del país. También a nivel de empresas PYMES, caso como son las pequeñas empresas agrícolas, ganaderas y artesanales en la región central. Estas utilizan pequeñas herramientas cuyas piezas de refacción pueden ser fundidas y mecanizadas en los talleres existentes. De igual modo la chatarra sería aprovechada y de esta manera se abarataría los costos. Todo esto con la idea básica de hacer industrias ambientalmente limpias.

El trabajo está organizado de la siguiente manera:

- Introducción: donde mencionamos aspectos generales sobre la situación del medio ambiente.
- Planteamiento del problema: donde se realiza la formulación del problema, con sus objetivos, justificación e hipótesis.
- Generalidades: se describen los antecedentes y las investigaciones relacionadas con nuestra propuesta y el medio ambiente.
- Fundamento teórico: donde se describe al horno y fundamentamos teóricamente lo que es nuestra propuesta, mencionamos fundamentos termodinámicos y cinéticos, también hay referencias del parámetro aire y el problema ambiental. El marco metodológico está referido al tipo de investigación realizada, variables, técnica de recolección y análisis de datos.
- Levantamiento de cálculos y curvas teóricas: en este capítulo realizamos los cálculos de construcción, carga y termoquímica. También señalamos el procedimiento a seguir para hallar el volumen ideal, donde se describe los cálculos estadísticos realizados finalizando con los cálculos termoquímicos, relacionados al peso del aire, para terminar con el procedimiento experimental.
- Resultados y discusiones: en este capítulo señalamos los resultados de nuestra práctica, comparamos los valores teóricos con los obtenidos en la práctica y hacemos la discusión de resultados.

- Recomendaciones y trabajos futuros: aquí de acuerdo a los resultados obtenidos proponemos algunas recomendaciones y trabajos futuros por hacer.
- Conclusiones: Después de analizar y comparar todo nuestro trabajo de tesis se logra sintetizar lo que se obtuvo en la práctica de acuerdo a los resultados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema.

Las emisiones de los hornos cubilote en una planta de fundición ferrosa tienen contenidos químicos nocivos a la vez contienen material particulado que emiten al ecosistema originando daños al ser humano y otros seres vivos. Esto se puede mitigar controlando los siguientes parámetros: **volumen del aire inyectado, régimen de fusión, temperatura y proporción de Fe/C** utilizados en el horno, de acuerdo a lo establecido por Jungbluth [1].

El volumen de aire inyectado es uno de los parámetros fundamentales, para demostrar que al modificarse esté, el sistema varía. Si se hacen los cálculos teóricos relacionados con el % del Coeficiente de Fusión, obtenemos una cantidad y esta igualada al

peso del volumen de aire inyectado, tenemos un valor ideal para ser utilizada cuando el horno esta estabilizado. En este punto se entiende que las emisiones del horno a la atmósfera serán las mínimas y el régimen de fusión es óptimo, de acuerdo con la temperatura y proporción Fe/C utilizada. Entonces la pregunta importante que se debe responder es. ***¿Cuál es la cantidad ideal de aire inyectado de acuerdo a los otros parámetros para obtener producciones ambientalmente limpias en los pequeños horno cubilotes de producción?***

El resultado permitirá evaluar uno de los impactos de las fuentes puntuales de contaminación ambiental como es el aire y formular estrategias apropiadas de mitigación.

1.2. Objetivo General

Conocer la cantidad de aire a inyectar en el sistema en base a los otros parámetros (Régimen de fusión, Temperatura, Proporción de Fe/C). Para mitigarlos y obtener producciones ambientalmente limpias en los pequeños hornos cubilotes de producción específicamente con diámetros internos menores a 30 cm.

1.3. Objetivos Específicos

- Calcular teóricamente las características del horno (estructura, carga y termoquímica).
- Calcular teóricamente el volumen ideal de aire a inyectar en el horno para una producción ambientalmente limpia de acuerdo a las características del horno.
- Demostrar que incrementando el volumen de aire, se incrementa el régimen de fusión (temperatura) manteniendo constantes los otros parámetros del horno de acuerdo a cálculos teóricos.
- Demostrar prácticamente la validez de las cantidades teóricas calculadas para el horno.

1.4. Justificación

- Las emisiones de los hornos cubilote en una planta de fundición ferrosa son contaminantes cuando la combustión no es perfecta; quiere decir que las cantidades de oxígeno y carbono no están en la proporción determinada para tener una reacción ideal. Esta reacción es medida por el % del coeficiente de fusión encontrado de acuerdo al cálculo termoquímico.
- El volumen de aire inyectado es uno de los factores principales que intervienen en la optimización de la producción. Es importante su estudio porque al controlar ésta variable nos permite tener un entorno medio ambiental limpio, o por lo menos mitigar su contaminación.
- El presente estudio trata de resolver el problema para pequeños hornos cubilote porque para los hornos industriales (diámetro interno mayores de 48 cm.) ya se ha realizado y esto lo podemos ver en las tablas del AFS [1] O también se puede simular, como en el modelamiento estadístico convencional de Massari y Lindsay [1] o el modelamiento termoquímico de la AFS [28].
- El estudio se realiza para resolver el problema de elaboración de piezas pequeñas a nivel de empresas PYMES (Pequeñas y medianas empresas) en el interior del país. De igual modo permitirá la utilización de la chatarra y la creación de nuevos

puestos de trabajo en éstas regiones. En pocas palabras colaborará con la descentralización.

1.5. Hipótesis

La cantidad ideal de volumen de aire a inyectar para obtener producciones ambientalmente limpias en pequeños hornos cubilotes de producción, estará indicado por el % del coeficiente de fusión obtenido, relacionado al régimen de fusión y está comparado con el peso del volumen de aire inyectado al sistema; entendiéndose que a mayor volumen de aire inyectado mayor producción, dentro de los límites que nos señala el % de régimen de fusión

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1. Antecedentes

Wilkinsons en el siglo XVIII construye el horno cubilote con un aprovechamiento eficiente del combustible respecto a los hornos utilizados en esa época (hornos a crisol y reverbero). Por aquellos tiempos el concepto del cubilote era tratado como un pequeño alto horno, por lo tanto la inyección de aire era de poco volumen y alta presión.[5] Esto trae como consecuencia la formación de monóxido de carbono (CO), compuesto necesario para reducir el mineral, produciendo aproximadamente 2,473 calorías; pero al inyectar aire con alto volumen y a presión moderada se obtiene la formación de dióxido de carbono (CO₂) con aproximadamente 8,080 calorías, cantidad suficiente para la fusión del metal en el cubilote. De ésta manera el consumo del coque disminuyó de 20-30 % a 6-12% [12] .

Este tipo de horno ha sido el pionero para la industrialización, por sus bajos costos de producción y la simplicidad de su funcionamiento. En aquellos momentos los problemas medio ambientales no eran tan preocupantes, porque era sustentable esta industria. La razón es que no rebasaba la capacidad de carga de los diferentes gases y partículas emitidas al aire y el daño al ecosistema era poco.

Al aumentar la producción de la industria se hizo necesaria la asistencia técnica para el control de los diferentes parámetros; como la inyección de aire en las proporciones determinadas. La idea era buscar el funcionamiento ideal del sistema para hacer más confiable este tipo de horno para la industria. Esta industria fue una más en incrementar el deterioro del medio ambiente que generó en la década pasada la preocupación sobre problemas medio ambientales.

El estudio estadístico de Jungbluth, pone la piedra angular; fijando los parámetros a utilizar para el estudio de los hornos industriales También se debe resaltar el estudio térmico realizado por la AFS [30]. y el grupo GUIMIPE Antioquia Colombia; simulaciones bastante precisas para proyectar la producción deseada

Con todos esos avances, el horno también es transformado y es así que ahora se habla de horno con cama fluidizada, horno a gas y horno dúplex.

En lo referente al aire las modificaciones son la adición de oxígeno, petróleo, agua, precalentamiento del aire y la utilización de doble toberas en la caja de viento.

Sobre el cuidado del medio ambiental, especialmente de las emanaciones por la chimenea, se han hecho sistemas de extracción de los humos para tratarlos mediante El enfriamiento de los humos, lavado de los humos. Los ciclones para la precipitación de las partículas, utilización de las bolsas de precipitación (cotreles) y por último los precipitadores electrostáticos; para que estas emisiones al salir por la chimenea cumplan con los estándares de límites máximos permisibles (LMP). En cuanto a la escoria se utiliza para la obtención de lana de vidrio y los óxidos usados en la industria. El carbón se ha coquizado para elevar el contenido de carbón fijo y disminuir las cenizas y azufre [20]. (Ver anexo figura N°32)

2.2. Investigaciones relacionadas con la propuesta

En sus inicios el horno cubilote se desarrolló empíricamente pero en las últimas décadas se ha realizado muchos estudios científicos y técnicos que han permitido conocer su comportamiento interior mediante el cálculo termoquímico. Los trabajos de simulación basados en modelos matemáticos han evolucionado el estudio de los procesos estadísticos y termoquímicos. Los modelos estadísticos se construyeron a partir de información experimental relacionada a las

variables de salida más importantes como es la producción horaria, temperatura y composición química del metal en piquera. Los esquemas utilizados fueron los diagramas de red o de Jungbluth expresados en forma de cartas de operación [27]. Las variables volumen de aire y la relación coque-metal controlados se encuentran directamente relacionadas con las variables de respuesta temperatura y producción horaria, obteniendo como resultado los menores costos de producción. Además le permitirá al fundidor, regular su operación de acuerdo con sus requerimientos. Otro estudio que resalta es el diagrama convencional desarrollado por Massari y Lindsay [27].

El modelo termoquímico abarca todos los aspectos del proceso a modelar, relacionando la cuantificación de todos los parámetros que intervienen. Estos comprenden las distintas reacciones y los intercambios de masa y de calor en las diferentes zonas del cubilote, las cuales se resumen en expresiones matemáticas que se resuelven por métodos numéricos. Uno de los métodos resaltantes es el modelo desarrollado por American Foundry Society (AFS), la cual desarrolló el software AFS Copola Model [30]. Este trabajo fue multidisciplinario y a través de un determinado tiempo. Este modelamiento es el más conocido; permite un buen grado de confiabilidad también predice la producción, la temperatura y el porcentaje de C, Si, Mn, del metal en piquera. Además, hay que destacar en este grupo el trabajo

desarrollado por los investigadores de la Universidad de Antioquia GIPIMNE [30].

Lo importante de estos trabajos es que se realizaron con datos para hornos de producción industrial

2.3. Investigación relacionado con el medio ambiente

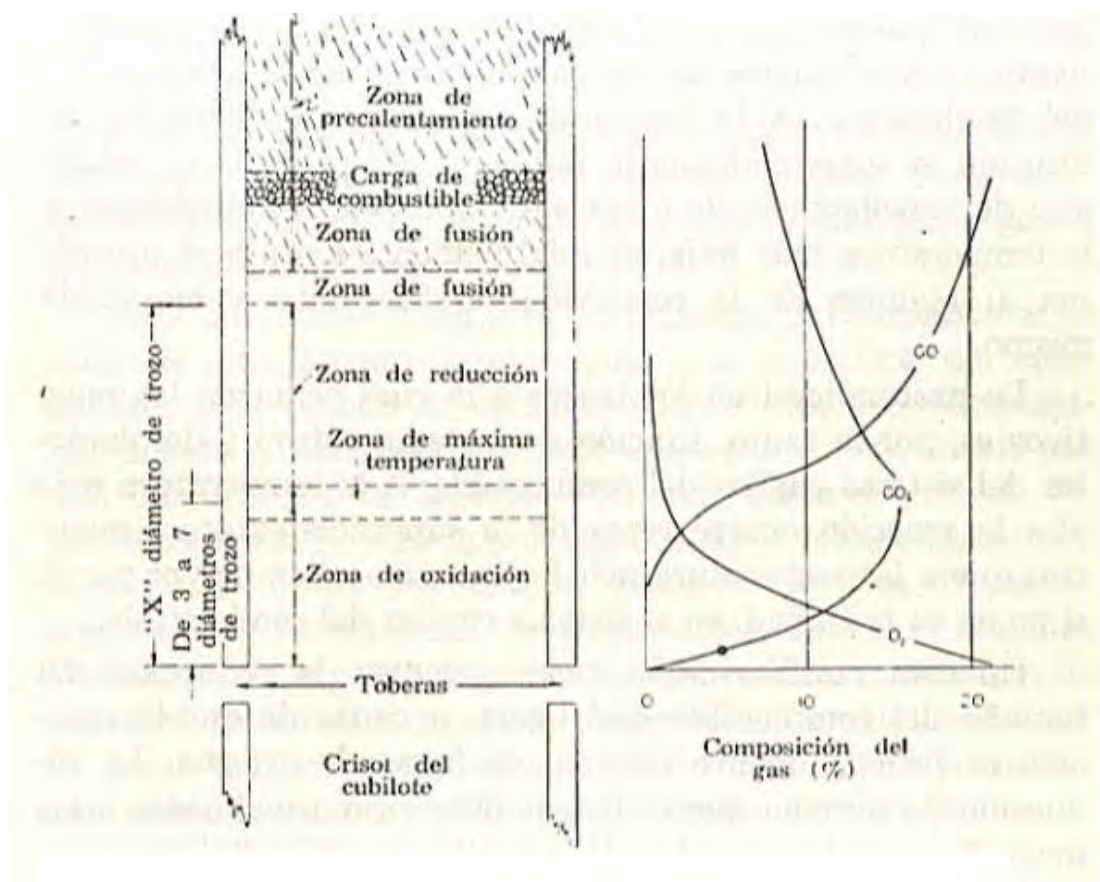
Sobre el estudio del medio ambiente, los modelamientos en general nos llevan a hacer cálculos aproximados para el mejor aprovechamiento de los recursos. Al optimizar la producción, por medio del control del aire inyectado al sistema, se emplea mejor este recurso haciendo sustentable el sistema total.

De acuerdo a lo expresado haré referencia a una investigación sobre como mitigar el daño al medio ambiente mediante el manejo del aire inyectado. Cabe destacar que por ser ésta investigación exploratoria, hay pocos trabajos sobre el tema.

- Aristizabal et al en su trabajo sobre Modelo Matemático para los fenómenos de combustión en un Horno de Cubilote,[28] nos dice que la zona de oxidación se encuentra cercana a las toberas y es donde ocurre la reacción de oxidación de combustión, por tanto es rico en dióxido de carbono, la extensión de esta zona depende de las **condiciones del soplo** (temperatura, caudal, enriquecimiento en oxígeno, etc.), de las características del coque (reactividad y tamaño) del **diámetro** y tipo de refractario del horno, Es precisamente en esta

zona donde se produce el calor necesario para el proceso. Las zonas de reducción son ricas en monóxido de carbono, la superior debido a la gasificación del coque por CO_2 y la inferior debido a las reacciones de oxidación del silicio y el carbono en el metal en la zona del crisol, la extensión de la zona de reducción superior depende de la altura de la cama y de las **condiciones del soplo. Especialmente del caudal** [28]. Como podemos ver en la figura 1

Figura N° 1 :Diagrama idealizado del comportamiento de los gases [1]



Podemos decir que la importancia de las condiciones del soplo, el volumen y la presión, [7]. es determinante para el funcionamiento ideal del sistema

En el capítulo de Simulaciones [30]. (Evaluación experimental de los perfiles de composición química del metal en un horno cubilote y comparaciones con algunos modelos matemáticos) se establece que las condiciones del aire del soplo: toma los datos de caudal de aire, caudal de oxígeno enriquecido, la temperatura, la humedad relativa, la temperatura ambiente, fracción de vacíos en la cama de coque y presión a nivel de toberas

Por lo que corresponde a estas condiciones del aire para nuestra experiencia los parámetros son: El aire no será enriquecido en oxígeno. La humedad relativa y la temperatura ambiente son valores que se determinarán antes de la práctica. No consideraremos la fracción de vacíos en la cama. En nuestra práctica lo fundamental será determinar el volumen y presión de aire a las condiciones ambientales, además demostrar que a mayor volumen de aire, mayor régimen de fusión, (mayor temperatura en piquera), dentro de ciertos límites, que es lo común y corriente que todo fundidor lo toma para realizar su trabajo.

CAPÍTULO III

FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1. El horno cubilote

Es un horno de cuba ya que la altura de trabajo es mayor que sus dimensiones de base, la carga ingresa por la parte superior recorriendo todo su interior por gravedad y obteniéndose en el pico o parte inferior el hierro fundido en las condiciones deseadas; con carga y descarga intermitente o continua [19].

3.1.1. Procesos en el horno cubilote

Los procesos se realizan en contracorriente ya que la carga metálica, carbón y caliza se desplazan de la parte superior hacia la

zona del crisol, mientras que la corriente de gases que comienza en la zona de toberas asciende reaccionando con el carbón de cama produciéndose la reacción con el aire inyectado por las toberas

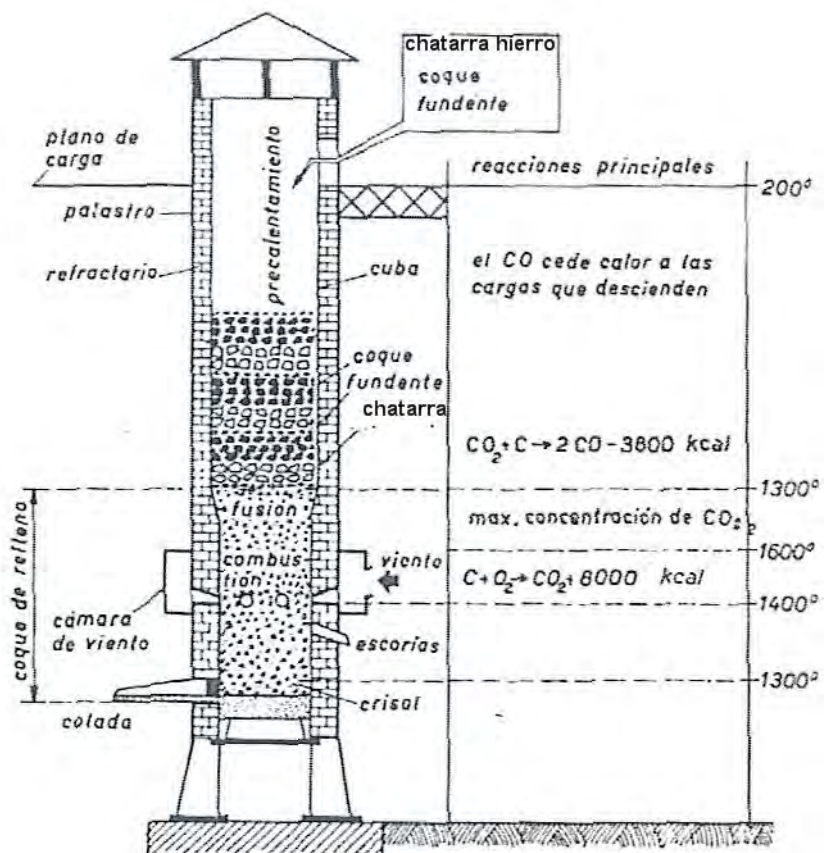
3.1.2. Partes del horno cubilote:

Estructuralmente el horno cubilote esta constituido por las siguientes partes:

- Chaqueta cilíndrica de eje vertical, de plancha de acero
- Revestimiento interno cubierto de ladrillos refractarios
- Chimenea, generalmente con su matachispas
- Boca de carga, con su sistema de carga
- Cámara de viento, conectada al tubo del ventilador
- Toberas, por donde entra el aire al sistema
- Escoriador, por debajo del plano de toberas
- Puerta de encendido del horno
- Canal de colada o piquera por donde sale el hierro fundido.
- Solera: es un plano inclinado generalmente de arena compactada.

- Plancha de base o mesa, es el soporte de horno, donde se encuentra la puerta de descarga
- Columnas de apoyo o patas de la mesa
- Crisol comprendida entre la solera y el escoriador, donde se almacena el hierro fundido.

Figura N° 2: Partes del Horno Cubilote en funcionamiento.(1)



3.2. Fundamento teórico:

Las variables a manipular en el cubilote son: volumen de aire, régimen de fusión, relación Fe/C y temperatura. Para el desarrollo de esta experiencia, se toma el volumen de aire como elemento independiente, porque este parámetro se puede manipular fácilmente frente al resto ya que con el uso de una válvula, o la variación de las revoluciones del motor, podemos controlar, el volumen del ventilador y la presión, valores determinantes para la optimización de la producción, de igual modo el control de las emisiones al medio ambiente. El punto ideal estará fijado al comparar el peso de hierro introducido al sistema, con el peso de volumen de aire inyectado, premisa sostenida por varios autores para trabajos industriales [1] En este trabajo, se procederá para hornos de poca producción (diámetro internos menores de 30cm.). Estos hornos tienen como máxima producción 1 Tonelada de hierro fundido por hornada; producción ideal para lugares como en el interior del país donde se necesita hierro fundido en poca cantidad.

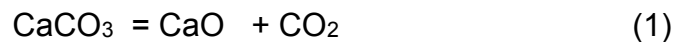
3.3. Termoquímico

La base termoquímica es la ley de Hess, segunda ley de la termoquímica el cual nos dice que el calor de una reacción es independiente del número de etapas que constituyen su mecanismo y

por lo tanto, depende solo de los productos (estado final) y reaccionantes (estado inicial) [1].

El estudio termoquímico se realiza mediante el conocimiento de las reacciones ocurridas internamente y estas son exotérmicas y endotérmicas que sumadas algebraicamente nos da el calor total que utiliza el sistema. Estando en funcionamiento el horno tiene las siguientes zonas que pasamos a describir (ver figura 2); También hay que tener presente que los gases ascendentes calientan el material descendente, ocurriendo las siguientes reacciones:

1.- Zona de Pre calentamiento: La reacción más importante, es la disociación de la caliza:

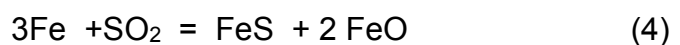


También se produce la disolución del carbono en la fase metálica:



Los combustibles se calientan hasta 100°C pierden la humedad y las sustancias volátiles, se hacen más amorfos y porosos, adquiriendo un elevado poder reaccional.

2.- Zona de Fusión.- En esta zona los trozos de metal comienzan a fundirse. En este periodo de fusión es posible la absorción del azufre por el metal, del siguiente modo:



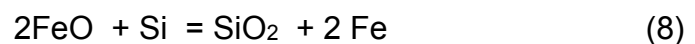
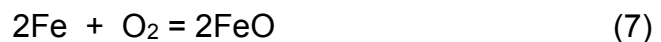
En esta zona los gases no varían su composición pero se enfrían considerablemente.

3.- Zona de reducción.- Las gotas del metal se recalientan por la alta temperatura de los gases y el coque ardiente, también las gotas del metal al hacer contacto con el combustible, disuelve el carbón y el azufre del combustible, ocurre la siguiente reacción:

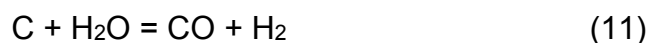


También aquí ocurre la escorificación de la cal sólida CaO con sílice líquida SiO₂ creando la escoria.

4.- Zona de oxidación o combustión.- La atmósfera es totalmente oxidante (hay oxígeno libre) las gotas del metal se recalientan, por el calor de los gases y el coque, además de la oxidación del Si, Mn. La temperatura es la máxima, 1600-1650°C. Las reacciones que se producen son:



También se produce la reacción del agua:



Con un fuerte recalentamiento de la fundición, la combustión del Si y Mn pueden interrumpirse, cuanto mayor es el recalentamiento más intensa es la combustión del carbón con la simultánea saturación de la fundición líquida con el carbono del coque. En esta zona también el azufre se quema y forma SO₂.

5.- Zona de Crisol.- La atmósfera en la parte superior es oxidante, en la parte media débilmente oxidante y el parte baja es no-oxidante, aquí el metal y la escoria se enfrían. Cuanto menor es el nivel de la escoria tanto menos oxidante será la atmósfera en el crisol (de acuerdo a Titov [16].)

Al inicio del estudio termoquímico es necesario hacer el balance estequiométrico de los materiales, para conocer como entran y salen del sistema; en el caso del hierro entra en forma de chatarra y sale como hierro fundido gris (según las especificaciones deseadas); el carbono entra en forma de carbón antracitoso, o coque y sale bajo la forma de carbono en el hierro fundido y como CO y CO₂; El oxígeno entra bajo la forma de aire y sale como gases combinados . En el caso del fundente, las ferroaleaciones y humedad, estas tienen poca actividad en el trabajo termoquímico.

De acuerdo al balance de materiales podemos resumir en:

- 1.- Entrada: - Metal (Fe, Si, Mn, C)
 - Piedra Caliza.
 - Coque
 - Perdida de refractario.
 - Aire (O, N, H₂O)
- 2.- Salida: - Metal (Fe, Si, Mn, C)
 - Escoria
 - Gases de escape

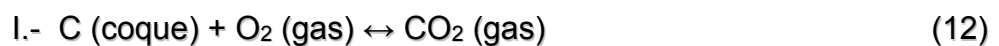
Como resultado tenemos: Calor suministrado, Calor gastado, Eficiencia de Fusión y Eficiencia de Combustión.

3.4. Cinético

La cinética trata del estudio cuantitativo de la rapidez de las reacciones ocurridas en un proceso los factores que intervienen, para el caso de las reacciones en el cubilote a nivel de toberas dependerá de la temperatura, el área y la concentración, de los elementos intervinientes.

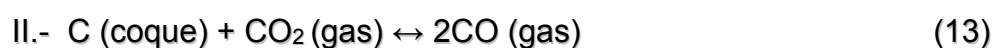
Según la Asociación de Fundidores Americanos (AFS) “El horno cubilote y su operación” describe las siguientes reacciones importantes que ocurren en el horno [1].

El parámetro aire en el cubilote está involucrado con las diferentes reacciones que se producen en el interior del horno, dentro de las cuales podemos destacar las que intervienen con el carbono del coque, los cuales generan la temperatura necesaria para el sistema:



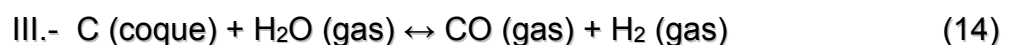
Desprendimiento de calor a 25 °C = + 97 000 Kcal./kg. mol

A 1600°C = + 97 600 Kcal./kg. mol



de calor a 25°C = - 40 500 Kcal./Kg. mol

A 1225°C = - 38 700 Kcal./Kg. mol

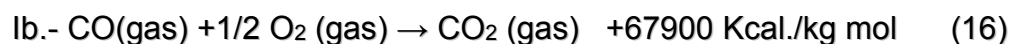
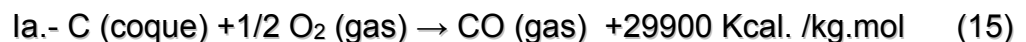


Desprendimiento de calor a 25°C = 30 700 Kcal./Kg. mol

A 1225°C = 32 100 Kcal./Kg. Mol

Reacción I.- Esta es la reacción productora de calor del proceso. Aun a las temperaturas máximas que ocurran en el cubilote, la constante de equilibrio es tal que, en el equilibrio la reacción es esencialmente completa en el sentido hacia la derecha, según esta escrita. El régimen de la reacción es inconmensurablemente rápida a las temperaturas que existen en el cubilote y esta controlado solamente por el régimen de transferencia de la masa de oxígeno, contenido en el aire soplado, a la superficie externa o aerodinámica del combustible,

En realidad, la Reacción I no es una reacción sencilla, sino la suma de dos reacciones sucesivas, como sigue:



Los datos disponibles indican que la Reacción lb es la mas lenta de las dos, pero con la velocidad de la flama de esta reacción a estas temperaturas es del orden de 1000 m/min, es todos los casos prácticos puede considerarse que las dos reacciones sucesivas se reúnen en la Reacción I.

Reacción II.-Esta es una reacción absorbente de calor y que extrae calor del cubilote, A las temperaturas existentes en la cama, la constante de equilibrio es tal que la reacción, en el equilibrio, es esencialmente completa en la reacción hacia la derecha, según esta

escrita. Sin embargo, a temperaturas más bajas la inversión de la reacción se ve favorecida, y puede ocurrir la deposición de carbono.

El régimen de esta reacción es fuertemente dependiente de la temperatura y el mecanismo cambio de la transferencia de masa a temperaturas arriba de unos 1480°C al control químico debajo de unos 1093°C. En la zona de transición entre 1093 y 1480°C el régimen es controlado probablemente por el régimen de difusión del reaccionante entrante y productos salientes del sistema capilar del combustible.

Reacción III.- Esta es una reacción absorbente de calor, pero es importante en la operación del cubilote solamente en proporción a la cantidad de barro de agua acarreado al cubilote por el aire soplado, La constante de equilibrio y el régimen de reacción son del orden de magnitud similar a la Reacción II, y el régimen que controla el mecanismo es igualmente similar.

Si nos referimos a estas reacciones descritas anteriormente cinéticamente lo describimos como:

I.-Reacción de combustión

II.-Reacción de gasificación por CO₂ o reacción de Boudouard

III.-Reacción de gasificación del vapor de agua.

Reacción de combustión [27]:

El aire que entra a través de toberas entra en contacto con el carbono incandescente, el oxígeno presente reacciona con el carbono, produciendo una reacción exotérmica generando el calor

necesario para el proceso, esta reacción tiene un carácter heterogéneo, por la reacción de un sólido (coque) con un gaseoso (aire) la cinética de esta reacción esta controlada por el transporte del reactante gaseoso (oxígeno) hasta la superficie del coque, la velocidad de reacción puede expresarse, según Stanek et al [28]:

$$R_1 = k_1 * a_{\text{scoque}} * C_{O_2} \quad (17)$$

donde:

R_1 =Velocidad de reacción (Kmol/m³s)

a_{scoque} = Área superficie del coque (m²/m³)

C_{O_2} = Concentración oxígeno en gas (Kmol/m³)

k_1 =Coeficiente de transferencia de masa depende de la densidad, viscosidad gaseosa, diámetro promedio de partículas de coque

Reacción de gasificación por CO₂ o reacción de Boudouard:

El CO₂ generado durante la reacción de combustión puede reaccionar con el carbón del coque para producir el monóxido de carbono. Esta es una reacción endotérmica, desde el punto energético se considera indeseable, pero colabora con el proceso por disminuir las pérdidas por oxidación de los elementos metálicos, también es una reacción heterogénea, los mecanismos cinéticos gobierna la temperatura:

- Temperaturas inferiores a 1000°C: La velocidad está controlada por la reactividad y ésta por la calidad del coque.
- Temperaturas entre los 1000-1200°C: La velocidad depende del transporte del reactante gaseoso CO₂ hasta la superficie del coque y la difusión de este a través de los poros, en resumen depende del volumen y la estructura de los poros.
- Temperatura mayor de 1200°C: La reacción está limitada por el transporte del reactante en la fase gaseosa y depende del área específica del coque.

La difusión externa del CO₂ hasta la superficie del coque, la velocidad de reacción esta expresada en la ecuación:

$$R_{2.1} = k_1 * a_{\text{scoque}} * C_{O_2} \quad (18)$$

donde:

$R_{2.1}$ = Velocidad de reacción superficie coque (kmol/m³s),

a_{scoque} = Área superficie del coque (m²/m³)

C_{O_2} = Concentración CO₂ en gas (kmol/m³)

k_1 = Coeficiente de transferencia de masa depende de la densidad y viscosidad gaseosa, diámetro promedio de partículas de coque.

Para el caso de la difusión a través de los poros se utiliza la ecuación:

$$R_{22} = k_1 * ((d_{\text{scoque}}/6) * (\rho_{\text{scoque}}/M_c)) * k_v * \eta * a_{\text{scoque}} * C_{CO_2} \quad (19)$$

donde:

R_{22} = Velocidad de reacción por la difusión a través de los poros

(kmol/m³s),

d_{scoque} = Diámetro promedio de las partículas de coque (m)

ρ_{scoque} = Densidad en bulto del coque (kg/m³)

M_c = Peso molecular del carbono (kg/kmol)

k_v = Constante de gasificación (m³/ kmol. s)

η = Difusividad efectiva por los poros.

Total la combinación de ambos mecanismos se resumen en:

$$R_2 = (1 / ((1/ R_{2.1}) + (1/ R_{2.2}))) \quad (20)$$

donde:

R_2 = velocidad global de la reacción de gasificación por CO₂
(kmol/m³s).

Reacción de gasificación por vapor de agua:

El agua ingresa al cubilote por dos vías, una es por la humedad de los materiales cargados. Esta humedad es despreciable porque se evapora una vez ingresada al horno muy cerca de la puerta con los gases de chimenea. Y el otro, el vapor de agua que ingresa con el aire soplado, este llega directamente a la zona de combustión y reacciona con el coque. La cinética esta determinado por el transporte del reactante hasta la superficie de reacción y por la difusión del reactante a través de los poros y estos se establecen por las expresiones:

$$R_{3.1} = k_1 * a_{\text{scoque}} * C_{\text{H}_2\text{O}} \quad (21)$$

donde:

$R_{3.1}$ = Velocidad de reacción de gasificación por el vapor de agua en superficie de coque (kmol/m³s)

$C_{\text{H}_2\text{O}}$ = Concentración de vapor de agua en gas (kmol/m³)

Y la segunda expresión:

$$R_{32} = (d_{\text{scoque}}/6Mc) * a_{\text{scoque}} 4.367 \times 10^7 \exp((-32121/T_{\text{gas}})) * (C_{\text{H}_2\text{O}})^{0.58} \quad (22)$$

donde:

$R_{3.2}$ = Velocidad de reacción de gasificación por el vapor de agua debido a la difusión de los poros (kmol/m³s)

La combinación de ambos mecanismos se representa en la siguiente ecuación:

$$R_3 = (1 / ((1/ R_{3.1}) + (1/ R_{3.2}))) \quad (23)$$

donde:

R_3 = Velocidad global de reacción de gasificación del coque por el vapor de agua (kmol/m³s)

Para concluir diremos que con estas relaciones y datos se formulan tomando un elemento diferencial de volumen, el eje se ubica a la altura de toberas y es positivo hacia la puerta de carga. Los resultados demuestran que el oxígeno se consume en forma rápida

en la zona cerca de las toberas generando dióxido de carbón cuya fracción molar aumenta en alturas comprendida entre los 0.40 m respecto a nivel de toberas, marcando esta el final de la zona de oxidación y el comienzo de la zona de reducción.

Cabe aclarar que el proceso descrito fue realizado por el grupo de investigación GIPIMME de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia [28].

3.5. Referencias sobre el parámetro aire del horno cubilote.

La Asociación de Fundidores Americanos (AFS) en “El horno cubilote y su operación” [1], refiere sobre el empleo del aire, en el cubilote es, fundamentalmente, la unidad más importante en el equipo de una fundición de hierro gris. La calidad del metal obtenido depende en gran parte de la manera de operar el cubilote. **Si se emplea demasiado aire** en proporción al coque consumido, se desperdicia combustible, los gases son relativamente fríos, y hay un peligro latente de oxidación, lo cual significa no solamente pérdida de metal sino también piezas de baja calidad. Las pérdidas por oxidación de Si y Mn deberán ser siempre consideradas en tal caso, pues estos elementos son caros, y la composición del metal obtenido puede ser afectado adversamente. Por el contrario si se emplea **insuficiente aire**, el combustible no se consumirá por completo, y la temperatura

no será suficientemente alta como para producir la cantidad y calidad deseada en el metal.

El cubilote es un horno de diseño y construcción determinadas, y en cada caso se aplican ciertos principios básicos de operación, Por esto, cuando dos cubilotes del mismo diseño y en una misma fundición varían notablemente es su comportamiento, el hecho no deberá tomarse como definitivo sino como una cierta prueba del conocimiento e ingenuidad del operador. Podrá atribuirse como causa de algunas diferencias en el funcionamiento de los dos cubilotes similares. **El operador debe tener la fe necesaria en las leyes fundamentales de física y química de las que depende el funcionamiento del cubilote [1].**

Podemos concluir de lo expresado que una fusión se hace lenta por el empleo de más coque, o por la inyección de menos aire al sistema dentro de límites razonables. De igual modo podemos decir que con una determinada cantidad de coque, un aumento de volumen de aire implica un aumento en el régimen de fusión y temperatura del metal. Además, manteniendo constante el abastecimiento del aire, un aumento del coque, hará que disminuya el régimen de fusión y aumentará la temperatura del hierro.

Como podemos deducir, solamente si nos centramos en el parámetro del régimen de soplado de aire para el sistema, este es el punto que se puede manipular más fácilmente y así poder variar el

comportamiento del horno, y trabajar con eficiencia para tener producciones ambientalmente limpias.

Los requerimientos del aire para el sistema se expresan en el peso de aire suministrado que es aproximadamente igual al peso del metal cargado.

Debo de mencionar lo expresado por N.D. TITOV [16] en su libro Tecnología del Proceso de Fundición, donde establece que la cantidad de aire influye en la altura de la zona de combustión y en la temperatura que se desarrolla en el cubilote. **Al aumentarse la cantidad de aire suministrado se eleva la velocidad de movimiento de los gases**, y como consecuencia, se alarga al zona de combustión en dirección del flujo de gas, por lo cual se hace mas largo el recorrido de las gotas de fundición en la zona de altas temperaturas y aumenta el recalentamiento de la fundición. Además, se eleva la temperatura de los gases, ya que el combustible se quema por completo. Se ha establecido que la cantidad óptima de aire suministrado al cubilote debe ser aproximadamente de 150 m³/min. por 1 m² de área de la sección transversal del cubilote

Los principios termoquímicos nos permiten pronosticar los efectos importantes que producen el buen funcionamiento del horno

cubilote, los dispositivos, que permiten un control más íntimo, así como la medición de los factores que determinan su comportamiento.

Revisando la bibliografía nos encontramos que se ha realizado mucho trabajo en varios países y esto sirva de base para el desarrollo de las cartas de Jungbluth y colaboradores los cuales relacionan; ***La temperatura del metal, el régimen de fusión, régimen de soplado y la relación Fe/C***, expresándolos matemáticamente estos factores.

Massari y Lindsay hacen la representación convencional, formando una base apropiada para el estudio del horno, los cuales dan diversas interpretaciones sobre el funcionamiento [27]

El problema termoquímico concluye en el porcentaje de coeficiente de fusión del sistema y es el que expresa la cantidad de calor potencial total de entrada que se recupera en forma de hierro caliente (esta debe estar entre 30-50 %).

3.5.1. Referencias sobre problema ambiental

En una planta de fundición el horno cubilote es el elemento que produce contaminación del aire, de acuerdo a AFS [1]. Está basado en:

- a) El pequeño tamaño de las partículas de una porción de las emisiones del cubilote.

- b) El color visible de estas emisiones que pueden ser clasificadas como un humo.
- c) La alta temperatura y volúmenes crecientes de los gases arrastrados que han de ser manejados por el equipo contra la contaminación del aire.

Los volúmenes de gas expedido y las cantidades de materiales gruesos y finos que forman el total de la emisión varían según las operaciones del cubilote, dependiendo del régimen de fusión, métodos de carga y limpieza de los materiales.

La AFS nos dice que, el polvo, las emanaciones y el humo están generalmente presentes en los gases procedentes de una operación de fusión. Pueden estos ser clasificados de acuerdo con el **tamaño de las partículas y modo de generación [1]**.

- Los polvos están formados por sólidos inorgánicos u orgánicos, sobre los que se emplean una fuerza mecánica. Los tamaños de las partículas van desde el microscópico hasta el submicroscópico sin embargo, las partículas de 50 micras se depositan rápidamente y son de menor significancia. Las emisiones de humos se definen como el polvo de un gas conteniendo partículas acarreadas de tamaño mayor que una micra en su diámetro medio.
- Las emanaciones, están formadas por partículas sólidas procedentes de oxidación, sublimación o condensación. Los

vapores son, por lo general, de tamaño menor de una micra, aun cuando pueden reunirse y formar partículas grandes.

- Los humos se forman de la combustión de materiales carbonosos y generalmente, son el producto de una combustión incompleta. El tamaño de las partículas de los humos es por lo general, menor de 0.5 micras.

Las emisiones de los cubilotes contienen diversos porcentajes de carbono, silicio, hierro, sodio, oxido de hierro, manganeso, calcio, silicato, azufre y otros sólidos metálicos y no metálicos. El tamaño de las partículas de estos sólidos varía desde el submicroscopico hasta 1000 micras. Por tonelada de material cargado tiene un promedio de 4.5 y 22.7 kg., de sólidos.

La gravedad especifica de las partículas de polvo procedentes de procesos metalúrgicos y de combustión varían de 1.3 a 7.5. El polvo proveniente de los cubilotes entre 9.61 y 13.61 Kg. m³, dependiendo de la cantidad de finos recogidos

El bióxido de azufre que escapa con los gases del cubilote esta en las cercanías de 0.004% en volumen.

Kenneth et al, en su libro de contaminación del aire [13] manifiesta que uno de los conceptos importantes es definir la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera exterior de uno o mas contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal

duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades. clasificándolos, a los contaminantes del aire en:

- 1.- Material particulado o partículas
- 2.- compuesto que contienen azufre
- 3.- Compuestos orgánicos
- 4.- Compuestos que contienen nitrógeno
- 5.- Monóxido de carbono
- 6.- Compuestos halogenados
- 7.- Compuestos radioactivos

Refiriéndose al material particulado

- Menores de 500 μm ($1 \mu\text{m} = 1 \text{ micrón} = 10^{-4} \text{ cm.}$).Las partículas en este rango de tamaño tienen una vida media en suspensión que varia desde unos cuantos segundos hasta varios meses;
- De 0.1 μm experimentan movimientos brownianos;
- Las partículas entre 0.1-1 μm tienen velocidades de asentamiento en el aire estático, que aunque finitas son pequeñas comparadas con las velocidades del viento;

- Las partículas mayores de 1 μm tienen velocidades de asentamiento significativas pero pequeñas;
- Las partículas por encima de 20 μm tienen grandes velocidades de asentamiento y se eliminan del aire por la gravedad.

*Se designa en contaminación atmosférica (calidad de aire), como material particulado en suspensión al total de partículas dispersas en la atmósfera, los cuales están constituidas por una gran variedad de sustancias, La fracción mas importante esta constituido por partículas separables (PM 10) de diámetro aerodinámico menos o igual a 10 micrómetros.

**El tratamiento que debemos dar para mitigar la contaminación expuesta anteriormente se puede delinear de la siguiente manera:

El pre enfriamiento o acondicionamiento de los gases calientes es, generalmente, necesaria dependiendo del tipo de equipo instalado, y en muchos casos deben emplearse materiales especiales para contrarrestar el calor y la corrosión.

Se puede obtener una amplia variedad de métodos de enfriamiento de los gases, (enfriamiento por radiación y convección, por evaporación o admisión de aire entrante).

Y el equipo de control de emisiones, podemos señalar a los colectores de polvos de alta eficiencia, filtros en forma de bolsa, precipitadores eléctricos, colectores tipo ciclónico, colectores de cono metálico, lavadores por rocío simple, depurador centrifugo.

Tyler et al establecen que la contaminación está referida a un cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas de aire, agua, suelo que puede influir de manera diversa en la salud, sobre vivencia o actividades del ser humanos u otro organismos vivos [21].

Como estas emisiones en el horno son eliminadas por la chimenea; el nivel de concentración de los contaminantes a los alrededores esta determinado por la topografía del terreno circundante y la metereología del lugar.

Generalmente estos parámetros de contaminación en atmósferas estables y velocidades bajas del viento conducen a contaminaciones altas a nivel de suelo. Lo contrario ocurre en las atmósferas inestables y las velocidades altas de viento conducen a las concentraciones bajas a nivel de suelo.

De acuerdo al Reglamento emitido por DS-016-93-EM [31] y sus modificatorias, sirve de pauta para las empresas minero metalúrgico de cumplir con los estándares aplicables a la

contaminación ambiental. Dentro de esta se contempla las emisiones problemáticas como son:

- Los gases; el gas contaminador más importante por lo menos en términos de cantidad emitida a la atmósfera es el dióxido de azufre (SO_2) Sin embargo, algunas actividades minero o metalúrgicas pueden emitir otros gases (CO , NO_x , H_2S , Se , Hg , etc.) altamente tóxicos para los seres humanos animales o plantas.
- Partículas; las partículas de pequeño diámetro como 10 micrones o menores, cuya repercusión en la salud humana merece especial consideración partículas de mayor diámetro, con frecuencia ocasionan otros problemas ambientales, como la pérdida de brillo u oxidaciones de materiales y la reducción de la visibilidad.
- Además la composición química de las partículas es importante desde el punto de vista ambiental.

Será necesario monitorear el volumen de emisión y la concentración de estas sustancias químicas tóxicas en el ambiente a fin de determinar la intensidad de la fuente, su ubicación y el peligro potencial que representa para la ecología peruana.

Sobre lo expuesto diremos que la sustentabilidad de una fundición que utiliza el horno cubilote esta basada en el tratamiento que se puede dar a los gases emitidos por el horno, pero antes de ser emitidos podemos mitigar controlando el parámetro de volumen de

aire inyectado y esto repercute en la producción (régimen de fusión total) cuyo, diámetro interno del horno, la proporción de Fe/C, temperatura del metal en el pico, y el régimen de fusión, pueden ser controlados optimizando el funcionamiento del sistema se puede deducir que el diámetro del horno y la proporción Fe/C, se hace constante una vez determinado, el horno a utilizar (construido) quedándonos el régimen de fusión el cual dependerá directamente del volumen de aire utilizado por medio del cual se puede aumentar o disminuir su producción, ya que esta depende de la mayor o menor temperatura en el sistema.

El volumen de aire inyectado, es el parámetro que le da, la fuerza mecánica a los polvos y gases emanados del horno, si esto es calculado de manera eficiente se puede atenuar la contaminación y obtener una producción suficiente en la medida que no sea tan contaminante al entorno de la fundición, no solamente el lugar sino dependiendo del diámetro que tenga la partícula, el cual puede alcanzar los estratos superiores de la atmósfera.

El horno cubilote tiende a un desarrollo sustentable porque esta proyectado a nivel de PYMES en el interior de país donde hay escasez de fundiciones de hierro y la necesidad de obtener piezas de este material es bastante, por consiguiente es aprovechar los recursos a niveles suficiente para que la agricultura y otros tenga un desarrollo sostenible en la región y así colaborar a nivel país.

La AFS [1], al referirse al volumen de aire manifiestan que muchos cubilotes son operados con volúmenes de aire inapropiados, especialmente al hacer piezas delgadas y con corazones se encuentra que la continua reducción en volumen de aire al mismo tiempo que baja continuamente el régimen de fusión conduce más y más a mayores pérdida por rechazo en la fundición. Esto es particularmente cierto si el diámetro interior del cubilote se mantiene constante mientras se hacen las reducciones en volumen de aire.

En cubilotes pequeños el hierro no esta tanto tiempo dentro del cubilote y, por consiguientes, tiene lugar menos oxidación. Pocos cubilotes son operados con el volumen de aire apropiado. Como se asevero arriba, es mejor operar un cubilote más pequeño con un soplo suficiente que una más grande con un soplado bajo, para obtener un régimen de fusión específico.

Los diferentes resultados dados por diferentes cubilotes pueden ser acusados a una diferencia real en volumen de aire. El factor de un volumen de aire apropiado no ha recibido todavía la consideración que la industria debería darle, A pesar de la creencia general, falsa, de que el aire es barato, el aire entregado al cubilote es un ítem substancial de costo, y por lo tanto fuerza a los directores de la fundición a hacer el uso mas eficiente al operar un cubilote [1].

Debemos de comentar que para ser una fundición sustentable el % de piezas rechazadas no deberá pasar el 5% y como se

manifiesta que la falla de esto esta en la mala aplicación del volumen de aire inyectado al sistema trae como consecuencia el enfriamiento del metal en piquera, obstrucción de toberas, baja la fluidez de la escoria, producción de humos por la chimenea, lo cual nos trae como consecuencia cancelar la fundición y la obtención de piezas rechazadas (huecos internos) acabados superficiales ásperos y porosos, en conclusión estamos incrementando el daño ambiental tanto por los gases emitidos y los sólidos como las piezas rechazadas (que llegan a ser chatarra), perjudicando económicamente la gestión de la empresa.

También debemos tener en consideración las recomendaciones emitidas por Suarez et al, referido a la contaminación en la industria de la fundición y métodos para el control de la misma [29]. En el capítulo de TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN LIMPIAS se aprecia que las áreas de posible aplicación se centran principalmente en el proceso de fundición mismo, ya que los otros procesos aparecen en menor escala.

Tecnologías limpias propiamente tal:

- Implementación de hornos pequeños de alta eficiencia.
- Implementación de hornos de inducción magnética.

Tecnologías limpias para hornos de arco eléctrico:

- Sistemas recuperadores de calor.
- Atmósferas inertes.
- Escorias espumosas.

Tecnologías limpias para hornos con proceso de combustión:

- Cambio a gas natural.
- Sistemas de recirculación de gases.

Como podemos observar propone la implementación de pequeños hornos de alta eficiencia, y sistemas de recirculación de gases. Ideas que comparte con el trabajo

Nevers [17]: sobre ingeniería de control de la contaminación del aire

Temperatura de combustión:

La temperatura pico de una llama depende de lo siguiente:

- 1- El combustible y el oxidante usado
- 2- El tamaño de la llama
- 3- El grado de premezclado del combustible y el aire
- 4- La cantidad de precalentamiento del combustible y el aire.

Las llamas de combustible-oxígeno son mucho mas calientes que las de combustible-aire, porque el nitrógeno que se encuentra en

el aire para la combustión absorbe calor, dividiéndose de este modo el calor liberado por la combustión entre más moléculas, con menos calor disponible para cada molécula que en una llama de combustible-oxígeno.

En este punto lo recomendable es utilizar una calidad de carbón buena ser bastante exigente en lo referente al % de cenizas, % de azufre básicamente. Si fuera ideal sería la utilización de coque producto escaso y costoso para nuestra realidad industrial.

Según Tyler Miller, en el capítulo Eficiencia de la Energía y Energía Útil Neta [21] establece que una manera de abatir en alto grado este desprendimiento de energía y ahorrar dinero es aumentar la eficiencia de la energía. Este es el porcentaje de la entrada total de energía que hace trabajo útil y no se convierte en calor de baja calidad, esencialmente no utilizable en un sistema de conversión de energía. Los dispositivos de conversión energética que utilizamos, varía considerablemente en sus eficiencias de energía.

Además establece que podemos ahorrar energía y dinero comprando los sistemas más eficientes energéticamente. Una regla general de uso de la energía es el principio de equiparar o adaptar la calidad de la energía a las tareas en que se aplicara: No debe usarse

energía de alta calidad para hacer algo que puede hacerse con energía de baja calidad.

Al concluir diremos que el % de eficiencia de fusión hallado al termino del problema termoquímico es un parámetro para medir la eficiencia de la energía dentro de los valores indicados, esto es cuanto mas alto es el valor mucho mejor será el aprovechamiento de la energía, de esta manera nuestro sistema es mas eficiente energéticamente.

COMENTARIOS DEL X ENCUENTRO INTERNACIONAL SOBRE CUBILOTES MODERNOS (La fundición, evolución en la globalización, realizado en Santander, España, marzo 2006 [23],

En el tema Evolución en los procesos de fusión en las fundiciones de hierro realizado por Paul Godinot compara la evolución del costo del hierro liquido en cubilote de viento frío de viento caliente y horno de inducción, partiendo de las mismas condiciones en cuanto a régimen de fusión, horas de funcionamiento y calidad de hierro (a nivel europeo), concluye que el cubilote pese a los problemas de emisiones, sigue conservando una cierta ventaja, reforzada por su capacidad para fundir materiales de características muy distintas y por actuar como depurador y digestor de residuos

En el mismo encuentro Xavier Gonzales Aispiri en el tema: La industria de la fundición en el mundo ¿que presencia tendrá en el futuro?, comenta que la globalización ha incidido notablemente en la industria de fundición con aumentos de producción notables en algunas áreas en detrimento de las mas tradicionales generando una nueva situación de los mercados agravada por la crisis de materia primas y los aumentos de precio. De todas maneras, la fundición sigue creciendo hemos pasado de 65 MT en el 2000 a 75 MT en 2003, y se prevén 83 MT en 2007, es decir, un aumento del 10% cada cuatrienio: Las fuerzas impulsora de este desarrollo son la industria automovilística que consume el 40-50% de la producción mundial, con unas expectativas de crecimiento del 20% en 2010.

Como se puede deducir, el operar cubilotes es rentable y tiene expectativas buenas para el futuro, siempre y cuando se realice técnicamente, teniendo en cuenta el cuidado ambiental, y la tendencia del desarrollo productivo con alto valor añadido.

3.6. Marco metodológico

3.6.1. Tipo de investigación:

Es una investigación científico-tecnológica que correlaciona datos extraídos de la recopilación de datos obtenidos en la industria a través del tiempo, con el fin de aplicarlos para hornos pequeños (menores de 30 cm. de diámetro interior).

3.6.2. Población y muestra.

El estudio esta concentrado en proponer un método de estudio para poder aplicar los valores de los diferentes parámetros que se utiliza en la valoración de los hornos industriales, para pequeños hornos que se utilizan en las producciones pequeñas, como son los PYMES (pequeñas y medianas empresas de producción) en el interior del país.

3.6.3. Relación entre variables

- La variable independiente (X), es el Volumen de aire introducido al sistema.

- Las variables dependientes (Y), son, La producción horaria, y la temperatura del metal en piquera.
- Otras variables intervinientes controladas: Diámetro interno del horno a nivel de toberas, y la relación entre Fe/C, Eficiencia de Fusión.

3.6.4. Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos se tomo de las cartas de Jungbluth (AFS-802-808) valores de hornos industriales de cuatro parámetros que son Régimen de fusión, Volumen de aire, Temperatura y Relación Fe/C. Para diámetro interno de hornos 914, 1067, 1219, 1676, mm. (20 datos de c/u y se selecciono 10) [1].

3.6.5. Técnicas de análisis de datos

El fundamento del presente trabajo es relacionar los valores del modelamiento estadístico con el termoquímico, tomando como valores de trabajo los utilizados en las cartas de trabajo de Jungbluth (ya que son datos seleccionados y trabajados a través del tiempo, en procesos industriales) valores que no hubiera podidos obtenerlas en forma personal ni garantizar la fidelidad de los mismos, tanto por tiempo y valor económico.

Seleccionado esto valores de acuerdo al intervalo de temperatura aproximada. Procedo al trabajo estadístico, estableciendo primero el valor independiente (para este caso se escogió al Volumen de aire a introducir al sistema) porque este valor es el que se puede manipular fácilmente en el trabajo

Este valor independiente (Volumen de aire), se relaciona con los valores dependientes como es el Régimen de Fusión y Temperatura, para cada uno de los diámetro internos de hornos elegidos (914, 1067, 1219, 1676, mm.) y también para cada relación de Hierro/ Carbono (8/1,10/1,12/1).

El método estadístico elegido es las **curvas de ajuste y método de mínimos cuadrados**, definidos por la fórmula de la recta:

$$Y = a + m \cdot X \quad (24)$$

También para la segunda parte del trabajo se elige el mismo procedimiento pero la expresión es tomada para una curva exponencial:

$$\log Y = \log a + (\log m \cdot X) \quad (25)$$

Al trazar la gráfica con estos valores, podemos seleccionar las ecuaciones de las rectas determinadas y además de acuerdo a la **teoría de la correlación trazar la recta de regresión, calculando el error típico de la estima**, (esta me da el grado de confiabilidad que debe tener mi resultado).

Los resultados de este trabajo son las diferentes ecuaciones de recta para un diámetro interno determinado y una relación de Fe/C determinada (8, 10, 12). Variando todo estos valores en función al Volumen de aire inyectado en el sistema.

Prosiguiendo con el trabajo estos valores se relacionan con la eficiencia de fusión extraída del balance termoquímico (de acuerdo a ley de Hess). Para comparar las diferentes relaciones se tiene que aproximar los valores de eficiencia de fusión al mínimo, y así poder escoger el valor optimo a tomar.

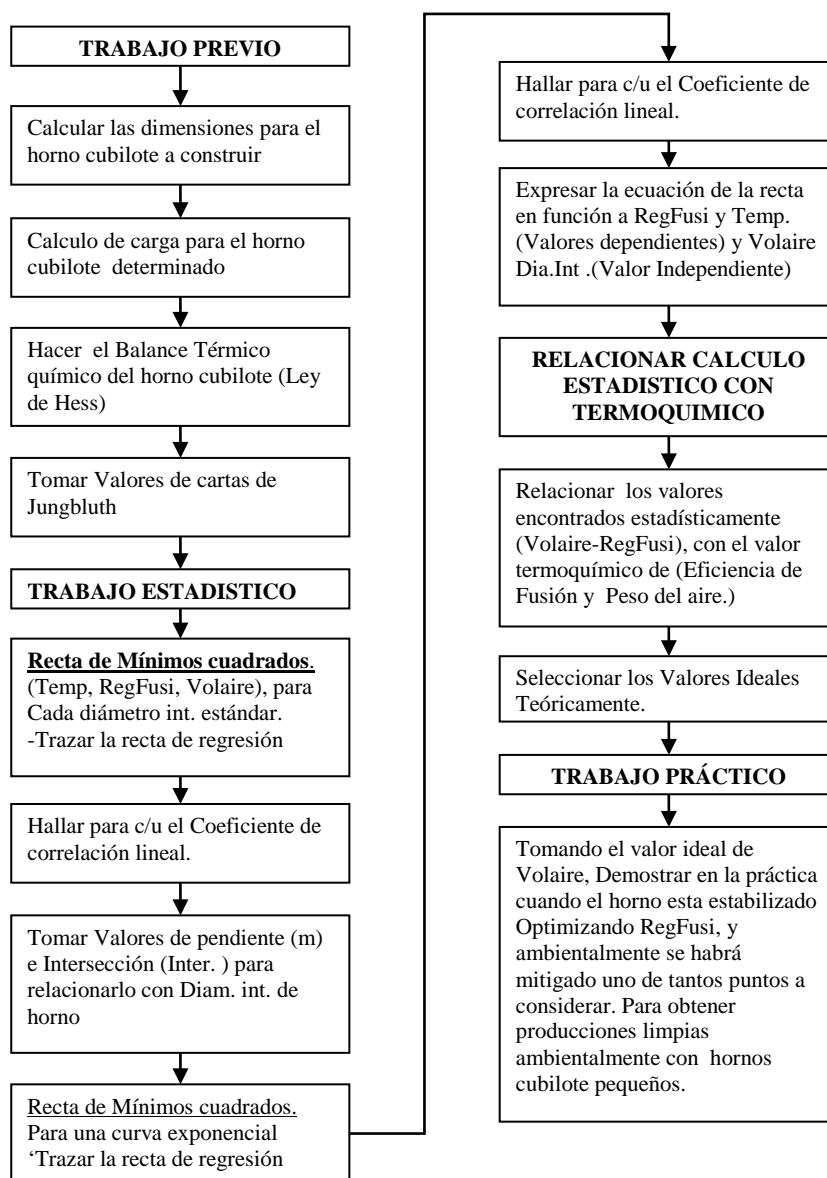
Para tomar los valores ideales el resultado anterior lo comparamos con el peso del aire inyectado al sistema que debe aproximarse al peso del régimen de fusión.

CAPITULO IV

LEVANTAMIENTO DE CÁLCULOS Y CURVAS TEÓRICAS.

En las investigaciones es imprescindible hacer una revisión teórica de los conocimientos, ya que en base a ellos se desarrollan las ideas principales y las hipótesis a comprobar. Luego de haber compilado la primera parte, el presente capítulo lo dedico a desarrollar el proceso que seguí para hallar las cantidades precisas de peso de aire, régimen de fusión, temperatura en piquera (conservando la relación Fe-C) y diámetro interior del horno a nivel de toberas. Para desarrollar esta propuesta he seguido un proceso sistemático los cuales están detallados en la figura N° 3. Seguidamente cada uno de estos temas son explicados individualmente y relacionados para obtener el resultado que buscamos en la tesis

Figura N° 3: Diagrama del trabajo propuesto



4.1. Cálculos para la construcción del horno cubilote.

Para construir el horno lo primero que debemos determinar, es la cantidad de material fundido que se espera obtener (P), este parámetro se proyecta en función de la cantidad de piezas a fundir y esto va acompañado, con el peso mayor que se debe llenar el molde de acuerdo a la pieza de mayor peso que se espera obtener cuyo material está referido a la cantidad de hierro fundido por picada (P_p). Entonces el primer valor es la cantidad de material fundido, llamado producción (P)

1.- Producción (P) lo fijamos en **475 kg/h.**

2.- Cantidad de calor para fundir (Q) a introducir en el horno.

$$Q = P * (C1 * (T1 - T) + C2 * (T2 - T1) + C3) \text{ kcal} \quad (\text{Capello.149}) \quad (26)$$

$$Q = 475 * (0.16(1200 - 15) + 0.20 * (1350 - 1200) + 70)$$

$$Q = 137.560 \text{ kcal}$$

3.- Cantidad de aire a introducir en el cubilote (Q_v) se deduce del siguiente modo:

3.a.- 1 kg de coque, produce (q) calorías por peso de coque(Pct)

$$Pct = \frac{Q}{q}; \text{ valores teóricos ; } q = 8030 \text{ kcal/kg de C (Tabla50 AFS 854)} \quad (27)$$

$$Pct = \frac{137.560}{8.030} = 17.13 \text{ kg de C (teórico)}$$

3.b.- En la practica (Pc) hay que compensar la perdida de caloría en

un 70 % (Capello p. 217):

$$P_c = 17.13 * 1.70 = 29.12 \text{ Kg.}$$

Si: $C + O_2 = CO_2$; aire posee 21 % de O₂.

$$12 \quad 2*16$$

$$32$$

Peso de aire inyectado (A) será:

$$A = P_c * \left(\frac{32 * 100}{12 * 21} \right) = 29.12 * 12.69 = 369.53 \text{ kg}$$

El volumen del aire (V) depende del peso específico (δ) = 1.2 kg/m³

$$V = \frac{A}{\delta} = \frac{369.53}{1.2} = 307.94 \text{ m}^3 \quad (28)$$

Llevándolo a cauda (Q_v) por minutos:

$$Q_v = \left(\frac{V * 60}{3600} \right) = 307.94 * \frac{60}{3600} = 5.13 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \quad (29)$$

4.-Peso de la Carga de Carbón (P_c) se determina del siguiente modo:

1 kg de coque utiliza ----- 9 m³ de aire

P_c ----- 5.13 m³/min

$$P_c = \frac{5.13}{9} = 0.57 \text{ kg/min}$$

Se considera entre 7 a 8 minutos por picada:

$$P_c = 0.57 * 7.5 = 4.27 \text{ kg} \text{ aprox } 4.3$$

5.- Carga metálica (P_m) que se utilizará en la fundición cuya caloría estará

dada por la cantidad de carbón encontrada.(de relación Fe/C=10/1)

$$P_m = P_c / 0.1 \quad (30)$$

$$P_m = 4.39 / 0.1$$

$$**Pm = 43.94 Kg.**$$

6.- Carga del fundente (Pf) para fundir esta cantidad de hierro.

$$Pf = 0.325 * Pc. \text{ (Capello p.212)} \quad (31)$$

$$Pf = 0.325 * 4.39$$

$$**Pf = 1.43 Kg.**$$

Hemos hallado las cantidades de carga que deberá tener el horno

7.- Diámetro interior (di) del horno

$$di = (P/60)^{(1/2)} \text{ (Capello p.204)} \quad (32)$$

$$di = (475/60)^{(1/2)}$$

$$**di = 2.8 dm.**$$

8.- Sección interna (Si) del horno.

$$Si = 3.1416 * \left(\frac{di^2}{4}\right) \quad (33)$$

$$Si = 3.1416 * (2.8^2/4)$$

$$**Si = 6.16 dm2**$$

9.- Cantidad de hierro existente en el crisol (Pfe-cri) del horno esto esta referido a la cantidad de 2 cargas de fierro.

$$Pfe - cri = 1.6 * Pm \text{ (AFS p. 195)} \quad (34)$$

$$Pfe - cri = 1.6 * 43.94$$

$$**Pfe - cri = 70.31 Kg.**$$

10.- Cantidad de hierro a obtener por picada (Pp)

$$Pp = Pfe - cri / 2 \quad (35)$$

$$Pp = 70.31 / 2$$

$$**Pp = 35.15 Kg.**$$

Estos son los valores necesarios para la construcción del horno el resto lo daré en una tabla en forma referencial

*Hemos hallado los parámetros para construir el horno cubilote, cuyas cualidades es un horno pequeño, cuyo diámetro interno es de 2.80 dm., una altura de 16.82dm y una producción horaria de 475 kg. Con una producción por fundición de 1000 kg. (3 horas, aproximadamente)

Este tipo de horno es a mi criterio el necesario para una producción de piezas a nivel de PYMES u otras industrias pequeñas.

Tomando estos valores vamos hacer el cálculo de carga para el horno.

4.2. Cálculo de carga.

- El procedimiento seguido es el método de la selección, por que generalmente las cargas en cantidad y calidad son frecuentes el la producción de una fundición. [16]

4.2.1.-Los parámetros que debemos tomar:

- Peso de la carga de hierro ($P_m = 43.94$ kg.) cuya relación con la carga de carbón ($P_c = 4.39$) es de 10 a 1, respectivamente.
- Vamos a preparar una carga para piezas de máquinas herramientas de 2 kg. c/u con un grosor entre 20-30 mm y una carga de rotura de 22 kg. /mm². Para estas exigencias se recomienda un material en

piquera con una composición química de C = 3.25%; Si = 1.75%; Mn = 0.50%; P = 0.25%; S = 0.100%.

La carga de hierro estará compuesta:

a) Chatarra de hierro fundido mecanizado en una proporción del 70%, cuyo análisis químico es de C = 3.30%; Si = 1.60%; Mn = 0.70%; P = 0.30%; S = 0.08%.

b) Piezas de retorno de fundición en una proporción del 27%, con el siguiente análisis químico C = 2.80%; Si = 1.70%; Mn = 0.40%; P = 0.35%; S = 0.08%.

* Como dato que en el horno hay una ganancias y pérdidas de elementos como sigue C = 30%; Si = -15%; Mn = - 18%; P = 0.0%; S = 40%.

c) Agregaremos ferroaleaciones en una proporción del 3%

$$\text{Si} = 1.750 * 1.15 - 1.750 = 0.4335 \text{ kg.}$$

$$\text{Mn} = (0.500*1.18)-0.598 = -0.008 \text{ kg (exceso favorece baja de S)}$$

4.2.2.-Procedimiento de cálculo:

a.- Para la chatarra de hierro fundido mecanizado

a.1.- Hallando el peso de carga:

$$43.94 * 70/100 = 30.760 \text{ kg.}$$

a.2.- Hallando peso de C de acuerdo a análisis:

$$(70/100) * 3.3 = 2.310 \text{ kg.}$$

a.3.- Hallando peso de Si de acuerdo a análisis:

$$(70/100) * 1.6 = 1.120 \text{ kg.}$$

a.4.- Hallando peso de Mn de acuerdo a análisis:

$$(70/100) * 0.700 = 0.490 \text{ kg.}$$

a.5.- Hallando peso de P de acuerdo a análisis:

$$(70/100) * 0.300 = 0.210 \text{ kg.}$$

a.6.- Hallando peso de S de acuerdo a análisis:

$$(70/100) * 0.08 = 0.056 \text{ kg.}$$

b.- Para las piezas de retorno de fundición: Se emplea el mismo

Procedimiento anterior:

b.1.- Peso de carga = 11.865 kg.

b.2.- Peso de C = 0.7560 kg.

b.3.- Peso de Si = 0.4590 Kg.

b.4.- Peso de Mn = 0.1080 Kg.

b.5.- Peso de P = 0.0945 Kg.

b.6.- Peso de S = 0.0216 Kg.

c.- Para las ferro aleaciones: Se emplea el mismo procedimiento

c.1.- Peso de carga = 1.318 kg.

c.2.- Peso de C = 0.000 kg.

c.3.- Peso de Si = 0.4335 kg. (hallado)

c.4.- Peso de Mn = -0.008 kg. (hallado)

c.5.- Peso de P = 0.000 kg.

c.6.- Peso de S = 0.000 kg.

Hallando la composición estimada del hierro cargado.

Viene a ser la suma de todos los componentes completando el 100% de la carga:

$$- \text{Peso de carga} = 30.76 + 11.865 + 1.318 = 43.94 \text{ kg.}$$

$$- \text{Peso de C} = 2.310 + 0.7560 = 3.0660 \text{ kg.}$$

$$- \text{Peso de Si} = 1.579 + 0.4335 = 2.0125 \text{ kg.}$$

$$- \text{Peso de Mn} = 0.5980 - 0.008 = 0.590 \text{ kg.}$$

$$- \text{Peso de P} = 0.210 + 0.0945 = 0.3045 \text{ kg.}$$

$$- \text{Peso de S} = 0.0560 + 0.0216 = 0.0776 \text{ kg.}$$

Llevando los pesos encontrados a porcentaje.

$$- \% \text{ de carga} = 100 \%$$

$$- \% \text{ de C} = 3.066 * 100/100 = 3.066 \%. \text{ (El procedimiento es semejante para el resto)}$$

$$- \% \text{ de Si} = 2.0125 \%$$

$$- \% \text{ de Mn} = 0.590 \%$$

$$- \% \text{ de P} = 0.3045\%$$

$$- \% \text{ de S} = 0.0776 \%$$

Hallando el análisis estimado en el pico del cubilote:

$$- \% \text{ de C} = 3.066 * 1.3 = 3.98 \% \text{ (% alto, estabiliza en 3.5 \% Capello/302)}$$

$$- \% \text{ de Si} = 2.0125 - (2.0125 * 0.15) = 1.7106 \%$$

$$- \% \text{ de Mn} = 0.590 - (0.5900 * 0.18) = 0.4838\%$$

$$- \% \text{ de P} = 0.3045 = 0.3045 \%$$

$$- \% \text{ de S} = 0.0776 * 1.4 = 0.1086 \%$$

Conclusión, tenemos como material en el pico del horno para las piezas pedidas de la siguiente composición:

- C = 3.500 %

- Si = 1.710 %

- Mn = 0.483 %

- P = 0.304 %

- S = 0.108 %

Composición que coincide con el análisis de las piezas pedidas.

**Para hallar la cantidad de ferroaleaciones a introducir:

(al cubilote se agrega por la carga FeSi de 45 % y FeMn 75%)

$$Si = 0.4335 * (43.9432 / 45) = 0.423 \text{ kg.}$$

$$Mn = -0.008 * (43.9432 / 75) = -0.0047 \text{ Kg (Nos ayuda a baja de \%S)}$$

4.3. Cálculo termoquímico. (Según Ley de Hess)

El cálculo implica los siguientes pasos:

El balance estequiométrico , de acuerdo a los materiales entrante y salientes será :

1.- Número de moles de Fe cargado = Número de moles de Fe sangrado

2.- Número de moles de C quemado = Número de moles de C en los gases de chimenea

3.- Número moles O₂ inyectado=Número de moles de O₂ como CO y CO₂ gases

a.- El Fe como elemento entra en forma de arrabio, chatarra, retorno, y sale como hierro fundido gris

b.- El C como elemento entra en forma de coque con 92 % de C. fijo más C. de materia prima, y sale bajo la forma de % de C. en el Hierro fundido y como CO y CO₂ (11y 12 %)

* En el caso del fundente, las ferroaleaciones y la humedad que intervienen en el proceso, es en menor grado.

Balance de materiales:

ENTRADA:

1.- Metal: Sacamos la cantidad en kg-mol. De cada componente del metal.

1.a.- Hierro:

Datos: - Kg de hierro cargado en 1 h = 475 kg.

- Peso atómico del Fe = 55.85.

$$Fe = 475 \text{ kg} / 55.85 = 8.5 \text{ kg} - \text{mol}$$

1b.- Silicio:

Datos: - Contenido de Silicio en la Carga = 2.01 %.

- Peso atómico del Si = 28.09.

$$Si = 475 \text{ kg} \times (2.01/100) / 28.09 = 0.34 \text{ kg} - \text{mol}$$

1c.- Manganeso:

Datos: - Contenido de Manganeso en la Carga = 0.59 %.

- Peso atómico del Mn = 54.93

$$Mn = 475 \text{ kg} \times (0.59/100) / 54.93 = 0.05 \text{ kg} - \text{mol}$$

1d.- Carbono:

Datos: - Contenido de Carbono en la Carga = 3.07 %.

- Peso atómico del C = 12.01.

$$C = 475 \text{ kg} \times (3.07/100) / 12.01 = 1.21 \text{ kg} - \text{mol}$$

2.- Piedra Caliza:

2a.- Carbonato de Calcio:

Datos: - Caliza cargado por h = 14.28 kg/h

- Contenido de CaCO₃ en Caliza = 92 %.

- Peso atómico de CaCO₃ = 100.09.

$$CaCO_3 = 14.28 \text{ kg} \times (92/100) / 100.09 = 0.13 \text{ kg} - \text{mol}$$

2b.- Oxido de Silicio:

Datos: - Peso atómico del SiO₂ = 60.09.

$$SiO_2 = 14.28 \text{ kg} \times (1 - (92/100)) / 60.09 = 0.02 \text{ kg} - \text{mol}$$

3.- Coque:

3a.- Carbono:

Datos: - Peso de Coque cargado por h = 66.65 kg/h

- Contenido de Carbono fijo en el coque = 89 %.

- Peso atómico del Carbono = 12.01.

$$C = 66.65 \text{ kg} \times (89/100) / 12.01 = 4.94 \text{ kg} - \text{mol}$$

3b.- Oxido de Silicio:

$$SiO_2 = 66.65 \text{ kg} \times (1 - (89/100)) / 60.09 = 0.12 \text{ kg} - \text{mol}$$

4.- Pérdida de Refractario:

-Peso CaCO₃ cargado por hora = $14.28 \times 92/100 = 13.14 \text{ kg/h}$

-Peso de escoria formada por hora.

Datos: - kg-mol de CaCO₃ = 0.13 kg-mol (2a)

- Peso de CaCO₃ = 56.10

- Contenido de CaO en escoria = 20.52%

$$= 0.13 \times 56.10 / (20.52/100) = 35.89 \text{ kg/h}$$

- Peso de Hierro sangrado por hora:

Datos: - Fe cargado por Hr = 475 kg/h

- Escoria formada por Hr = 30.22 kg/h

- Contenido de FeO en escoria = 2.00 %

- Peso atómico Fe = 55.85

- Peso molecular FeO = 71.80

$$= 475 \times ((30.22 \times (2/100)) / (55.85/71.8)) = 474.44 \text{ kg/h.}$$

4a.- SiO₂: 1) Si en la escoria + Si en el Hierro sangrado.

2) Menos (Si en Fe cargado + Si en coque carga + Si en caliza carga)

- Si en el Fe de salida:

Datos: - Peso de Fe sangrado x Hr = 474.44 kg/h.

- Contenido de Si en el Fe sangrado = 1.71 %

- Peso atómico Si = 28.09

$$\text{Si en el Fe de salida} = (474.44(1.71/100))/28.09 = 0.29 \text{ kg} - \text{mol}$$

- Si en la escoria:

Datos: - Peso de escoria formado x Hr = 35.89 kg/Hr

- Moles de CaCO₃ = 0.13 moles

- Peso de CaO = 56.10

- Contenido de FeO en escoria = 2.00%

- Peso de FeO = 71.80

- Moles de Mn = 0.05

- Contenido de Mn en Fe sangrado = 0.48 %

- Peso atómico Mn = 54.93

- Peso MnO = 70.93

4.a1.- CaO igual a los moles de CaCO₃ cargados

$$= 0.13 \times 56.10 = 7.36 \text{ kg}$$

4.a2.- FeO = $(35.89(2/100) \times (1/71.8)) \times 71.8 = 0.72 \text{ kg}$.

4.a3.- MnO = $(0.05 - (474.44(0.48/100) \times (1/54.93))) \times 70.93 = 0.65 \text{ kg}$

Total Si en escoria

$$= (35.89 - 7.36 - 0.72 - 0.65) \times (1/60.09) = 0.45 \text{ kg - mol}$$

- Si en Fe cargado = 0.34 kg-mol (1b)

- Si en la caliza cargado = kg-mol (2b)

- Si en el coque cargado = 0.12 kg-mol (3b)

$$\text{Total de SiO}_2 = 0.29 + 0.12 - 0.34 - 0.02 - 0.12 = 0.26 \text{ kg - mol}$$

5.- Aire:

5.a1.- Oxígeno necesario para quemar el coque

Datos: - Contenido de CO₂ en gas=13.00% de Tabla 46 AFS

CO=13.2% , N₂=73.8%

-Coque cargado = 66.65 kg/h.

- 1 kg-mol de gas de escape tendrá:

$$- CO_2 = 13/100 = 0.130 \text{ kg - mol}$$

$$- CO = 13.2/100 = 0.132 \text{ kg - mol}$$

$$- N_2 = 73.8/100 = 0.738 \text{ kg - mol}$$

- 1 kg-mol de gas de escape producido tendrá:

$$= 0.130 + 0.132 = 0.262 \text{ kg - mol de C}$$

En kg será= $0.262 \times 12.01 = 3.15 \text{ C}$

- C cargado x Hr= $66.64 \times (89/100) = 59.32 \text{ kg}$.

- C perdido en la descomposición de la humedad:

Datos: - 1 kg = 2.2046 lbs.

- gr de H₂O x pie³ = 3.9

$59.32 \text{ kg} \times (2.2046 \text{ lbs}/1 \text{ kg}) = 130.7768 \text{ lbs}$

$130.776 \text{ lbs} \times ((3.9/100 \text{ gr de H}_2\text{O} \times \text{pie}^3)) = 5.10029 \text{ lbs}$

$5.10029 \text{ lbs} \times (1 \text{ kg}/2.2046 \text{ lbs}) = 2.31348 \text{ kg}$.

* Pérdida de Carbono cedido al hierro.

Datos: - C en el Fe cargado = 3.07 %

- C en Fe sangrado = 3.99 %

= C cedido al Fe = 0.92 %

= $475 \text{ kg} \times (0.92\%/100) = 4.37 \text{ kg}$.

Total Carbono Perdido= $2.31348 \text{ kg} + 4.37 \text{ kg} = 6.68348 \text{ kg}$

-C quemado x hora= $59.32 \text{ kg} - 6.683 \text{ kg} = 52.6365 \text{ kg}$.

- kg-mol de gas escape por x Hr

= $52.636 \text{ kg}/3.15 \text{ kg} = 16.71 \text{ kg} - \text{mol}$

-El gas de escape contiene:

- CO₂= $16.71 \text{ kg} - \text{mol} \times 0.130 \text{ kg} - \text{mol} = 2.17 \text{ kg} - \text{mol}$

- CO = $16.71 \text{ kg} - \text{mol} \times 0.132 \text{ kg} - \text{mol} = 2.205 \text{ kg} - \text{mol}$

- Oxigeno necesario:

C+ O₂ = CO₂ = 2.17 kg-mol

C+1/2 O₂ = CO = 2.205/2 = 1.1025 kg-mol

Total Oxígeno (O₂) necesario para quemar coque =

$$2.17 + 1.1025 = 3.27 \text{ kg} - \text{mol}$$

5.a2.- Oxígeno necesario para oxidar Fe:

Datos: - Peso de escoria formado x hora = 35.89 kg

-Contenido de FeO en escoria = 2.00 %

- Peso atómico Fe = 55.85

$$= (35.89 \text{ kg} \times (2.00/100)) / 55.85 = 0.01 \text{ kg} - \text{mol}$$

5.a3.- Oxígeno necesario para oxidar Si:

Datos: - Contenido de Si en carga = 12.01 %

- Contenido de Si en Fe sangrado = 1.71 %

- Carga de Fe = 475 kg

- Peso atómico Si = 28.09

$$= (((2.01 - 1.71) / 100) \times 475 \text{ kg}) / 28.09 = 0.05 \text{ kg} - \text{mol}$$

5.a4.- Oxígeno necesario para oxidar Mn:

Datos: - Contenido de Mn en carga = 0.59 %

- Contenido de Mn de Fe sangrado = 0.48 %

- Peso atómico Mn = 54.93

$$= (((0.59 - 0.48) / 100) \times 475 \text{ kg}) / 54.93 = 0.01 \text{ kg} - \text{mol}$$

Total Oxígeno (O₂) en el aire utilizado en la oxidación (quema)

$$= 3.28 + 0.01 + 0.05 + 0.01 = 3.35 \text{ kg} - \text{mol}$$

5.b.- Nitrógeno:

Datos: - % N₂ en el aire = 79.00 %

- % O₂ en el aire = 21.00 %

$$= 3.35 \text{ kg} - \text{mol} \times (79/100) \times (1/(21/100)) = 12.61 \text{ kg} - \text{mol}$$

5.c.- Agua:

5.c1.- Hallando peso de aire seco empleado:

- Kg de aire necesario para quemar coque:

Datos: - O₂ necesario para quemar coque = 3.28 kg-mol

- Peso atómico O = 16

$$= 3.28 \text{ kg} - \text{mol} \times (16 \times 2) = 104.92 \text{ kg}.$$

- Total de moles de N₂ ; Pa N= 14

Datos: - Moles de gas escape proa x hora = 16.71 kg-mol

-N₂ en 1 mol de gas escape = 0.738 kg-mol

$$= 16.71 \text{ kg} - \text{mol} \times 0.738 \text{ moles} = 12.346 \text{ kg} - \text{mol}$$

$$= 12.346 \text{ kg} - \text{mol} \times (14 \times 2) = 345.708 \text{ kg}.$$

- Peso de aire seco empleado:

$$= 104.92 \text{ kg} + 345.7 \text{ kg} = 450.63 \text{ kg}.$$

5.c2.- Humedad por lbs de aire seco:

Datos: - G= 53

- Presión barométrica : 749 mmHg

- Presión barométrica Normal = 760 mmHg

$$= 53 \times (749/760) = 52.23 \text{ Granos}.$$

5.c3.- Humedad Total en el aire soplado x Hr.

Datos: - Peso aire seco empleado = 396.35 kg

- 1 lb = 7,000 granos (AFS p. 860)

- 1 kg = 2.2046 lbs

- Pa. H = 1

- Pa. O = 16

$$450.58 \text{ kg} \times (2.2046 \text{ lb} / 1 \text{ kg}) \times (52.23 \text{ gr} / 7,000 \text{ gr}) \times (1 \text{ kg} / 2.2046) / (2 + 16) = 0.19 \text{ kg} - \text{mol}$$

SALIDAS:**I.- Metal:**

I.a.- Hierro:

Datos:- kg-mol de Fe cargados = 8.5 kg-mol

- Peso escoria formado x hora = 35.89 kg

- Contenido de FeO en escoria = 2.00 %

- P.m. del FeO = 71.80

$$= 8.5 - (35.89(2/100) \times (1/71.80)) = 8.49 \text{ kg} - \text{mol}.$$

I.b.- Silicio:

Datos: - Peso de Fe sangrado x hora = 474.44 kg

- contenido de Si en Fe sangrado = 1.71 %

- P.a. Si = 28.09

$$= 474.44 \times (1.71/100) \times (1/28.09) = 0.29 \text{ kg} - \text{mol}$$

I.c.- Manganeso:

Datos: - Mn en Fe sangrado = 0.48 %

- P.a .Mn = 54.93

$$= 474.44 \times (0.48/100) \times (1/54.93) = 0.04 \text{ kg} - \text{mol}$$

I.d.- Carbono:

Datos: - C en Fe sangrado = 3.99 %

- P.a. C.= 12.01

$$= 474.44 \times (3.99/100) \times (1/12.01) = 1.57 \text{ kg} - \text{mol}$$

II.- Escoria:

II.a.- CaO : Igual a moles de CaCO₃ cargado = 0.13 kg-mol

II.b.- FeO :

Datos: -Peso de escoria formado x Hr = 35.89 kg.

- Contenido de FeO en escoria = 2.00%

- P.m. FeO = 71.80

$$= 35.89 \times (2/100) \times (1/71.80) = 0.01 \text{ kg} - \text{mol}$$

II.c.- MnO : Igual a pérdida de Mn en Metal.

Datos: - Mn en metal de entrada = 0.05 kg-mol (1c)

- Mn en metal de salida = 0.04 kg-mol (1c)

$$= 0.05 - 0.04 = 0.01 \text{ kg} - \text{mol}$$

II.d.- SiO₂ : Igual a Si en escoria (4.a3) de entrada = 0.45 kg-mol

III.- Gases de Escape:

III.a.- CO₂ de combustión de coque+ la cantidad obtenida de la calcinación de CaCO₃

Datos: - Moles de gas escape producido x Hr = 16.73 kg-mol
 - CO₂ de 1 kg-mol de gas de escape (5) = 0.130 kg-mol
 - CaO de escoria sólida (IIa) = 0.11 kg-mol
 $= (16.73 \times 0.130) + 0.13 = 2.31 \text{ kg} - \text{mol}$

III.b.- CO de combustión de coque y descomposición de humedad:

Datos: -Moles de gas escape por Hr = 14.71 kg-mol
 - CO de 1 kg-mol gas escape = 0.132 kg-mol
 - Humedad total en el aire soplado x Hr (5c3) = 0.16 kg-mol
 $= (14.71 \times 0.132) + 0.19 = 2.39 \text{ kg} - \text{mol}.$

III.c.- H₂ de descomposición del agua=

Humedad total en aire soplado x Hr = 0.19 kg – mol

III.d.- N₂ de la descomposición del aire=

Nitrógeno (5b) de aire = 12.61 kg – mol.

RESUMEN:**Tabla N° 1:** Resumen del calor neto del cambio químico.

ENTRADA			SALIDA		
	kg-mol	Calor de formación kcal/Hr		kg-mol	Calor de formación kcal/Hr
METAL			METAL		
Fe ₃ C	1.21	- 5,330.56	Fe ₃ C	1.57	-7,872.73
FeSi	0.34	4,529.40	FeSi	0.29	5,547.37
Mn	0.05		Mn	0.04	
Fe	8.50		Fe	8.49	
CALIZA			ESCORIA		
CaCO ₃	0.13	37,865.4	CaO.SiO ₂	0.13	49,620.82
SiO ₂	0.02	3,899.68	MnO.SiO ₂	0.01	3,304.38
COQUE					
C	4.94	- 11,755.04	FeO.SiO ₂	0.01	2,759.13
SiO ₂	0.12	25,023.97	SiO ₂	0.3	61,806.64
REFRACTARIO			GASES ESCAPE		
SiO ₂	0.26	53,211.42	CO ₂	2.31	216,873.13
AIRE			CO	2.39	63,262.50
O ₂	3.35		H ₂	0.19	
N ₂	12.61		N ₂	12.61	
H ₂ O	0.19	10,795.88			
TOTALES		119,512.25			395,301.24

CALOR NETO DE CAMBIO QUIMICO POR HORA EN KCAL:

$$= 395,301.24 - 119,512.25 = 275,788.99 \text{ kcal.}$$

*** CONTENIDO DE CALOR DE LOS GASES DE ESCAPE:**

Datos:

- Contenido en el gas de escape:
- CO₂ = 2.31 kg-mol
- CO = 2.39 kg-mol
- H₂ = 0.19 kg-mol
- N₂ = 12.61 kg-mol
- Calores medios (ver tabla 48 AFS)
- Temperatura : 454 -25 = 429 °C

Tabla 2: Contenido de calor en los gases

	Peso de Gas kg	Calores Medios (454-25=429 °C)	Temperatura	Contenido de calor en gases Kcal
CO₂	2.31 x 44.05 = 101.48 x	0.2408 x	429	= 10,483.42
CO	2.39 x 28.01 = 67.08 x	0.2556 x	429	= 7,355.47
H₂	0.19 x (2x1) = 0.37 x	3.463 x	429	= 554.99
N₂	12.61(2x14) = 353.05 x	0.2538 x	429	= 38,440.03
Total	Peso gases 521.98			56,833.91 kcal

- Peso de la humedad en el aire soplado:

Datos: - Peso de aire seco empleado (5c1)= 396.35 kg.

-1 kg = 2.2046 lbs

- Constante G = 53

- Presión = 746 mmHg

- 1lb = 7,000 granos

Humedad x Lbs de aire seco soplado x Hr.

$$= 450.58 \times (2,2046/1) = 993.348 \text{ lbs.}$$

$$= 993.348 \times (53/7,000) \times (749/760) \times (1/2,2046) = 3.36 \text{ kg.}$$

*** CALOR SUMINISTRADO:**

- **Pre calentamiento del aire soplado.** (Solamente referencial, en practica no calentaremos el aire soplado)

Datos:

- Oxígeno. Necesario para quemar coque (5.a1) = 2.88 kg-mol

- Pa.O. = 16

- Calor especifico medio. Oxígeno.(25-177°C-tabla 48 AFS) =0.2230 kcal/kg°C

- Temp soplado = 17°C, Temp medio ambiente. =16°C(supuesto).

- Carbón quemado x Hr (5.a1) = 46.30 kg

- 1 mol gas escape tendrá (5.a1):

$$CO_2 = 0.130 \text{ mol} + CO = 0.132 \text{ kg} - \text{mol}$$

- Pa.C = 12.01

- 1 mol gas escape tendrá (5.a1): N₂ = 0.738 kg-mol

- Pa.N. = 14

- Calor especific. med de N (tabla 48 AFS) = 0.249 kcal/kg°C

- Peso de la humedad en aire soplado = 2.96 kg

- Calor especif.med de H₂O (tabla 48 AFS) = 0.4514
kcal/kg°C

$$O_2 = 3.28 \times (16 \times 2) \times 0.223 \times (17 - 16) = 23.40 \text{ kcal}$$

$$N_2 = ((52.64 / ((0.130 + 0.132) \times 12.01)) \times 0.738) \times (14 \times 2) \times 0.249 \times (17 - 16) = 86.07 \text{ kcal}$$

$$H_2O = 3.36 \times 0.4514 \times (17 - 16) = 1.52 \text{ kcal}$$

$$\text{TOTAL} = 110.98 \text{ kcal}$$

- Calor Neto de Cambios Químicos (Resumen) = 275,788.99 kcal.

Total de calor suministrado = 0 + 275,788.99 = **275,788.99 kcal.**

*** CALOR GASTADO:**

- Contenido de calor del hierro.

Datos: - Temp promedio sangría = 1,350 °C

- Temp. amb. = 17 °C

- Calor especif.med de Fe (tabla 48 AFS) = 0.2085
kcal/kg°C

- Peso de Fe sangrado x Hr (4) = 474.44 kg.

$$= (1350 - 17) \times 0.2085 \times 474.44 = 131,861.81 \text{ kcal.}$$

- Contenido de calor en la escoria:

Datos: - Calor especif.med de esc. (tabla 48 AFS) =
0.3209 kcal/kg°C

- Peso de escoria formada x Hr (4) = 35.89 kg.

$$= 35.89 \times 0.3209 \times (1350 - 17) = 15,351.74 \text{ kcal.}$$

- Calor contenido en los gases de escape = 56,833.91 kcal.

- Pérdidas por radiación (diferencia):

Datos: - Calor suministrado = 275,741.53 kcal.

- Calor Fe = -131,861.81 kcal.

- Calor escoria = -15,351.74 kcal.

- Calor gas escape = -56,833.91 kcal.

TOTAL = 71,741.53 kcal.

TOTAL CALOR GASTADO =

$$131,861.81 + 15,351.74 + 56,833.91 + 71,741.53 = 275,788.99 \text{ kcal.}$$

* CALOR POTENCIAL EN EL COQUE:

Datos: - Peso coque = 66.65 kg/Hr.

- Contenido de C fijo en coque = 89 %

- Peso de C fijo = $66.65 \times 89/100 = 59.3185 \text{ kg.}$

- Calor al quemar a CO₂, 1 kg de C (Tabla 50 AFS)

C coque + O₂ = CO₂ + 8,030 kcal/kg

- Calor Potencial = $59.31 \times 8.030 = 476.327 \text{ kcal.}$

Datos:

- Carga de Fe x Hr. = 475 kg/Hr.

- Contenido de C en Fe cargado = 3.07 %

- Contenido de C en Fe sangrado = 3.99 %

- Pérdida de C cedido al Fe = $3.99 - 3.07 = 9.32\%$

$$\text{En kg.: } 475 \times 0.92/100 = 4.37 \text{ kg.}$$

- Cantidad de C perdido en la descomposición de la humedad
(Método porcentaje C perdido = Número de granos de agua x pie³)

Datos:

- Peso de C fijo = 59.3185 kg (1kg = 2.2046 lbs)

$$= 59.3185 \times (2.2046/1) = 130.77 \text{ lbs}$$

(Igualando al Numero granos de agua x pie³)

$$= 130.77 \times 0.039 \text{ (cte)} = 5.1 \text{ lbs}$$

- C total perdido = $4.37 \times (2.2046/1) = 9.6341 \text{ lbs}$

$$= 5.1 + 9.63 = 14.7341 \text{ lbs} \times (1/2.2046) = 6.68 \text{ kg.}$$

- Calor potencial de este C.

$$= 6.68 \times 8,030 = 53,640.4 \text{ kcal.}$$

CALOR POTENCIAL NETO EN EL COQUE = $476.327 - 16.514$

$$= 459.812 \text{ kcal. (aprox) } 422.667 \text{ kcal. (valor obtenido Excel)}$$

*** EFICIENCIA DE FUSION. (EF):**

EF = (Contenido de calor en el Fe x 100) / (Calor Potencial en el
coque+ Precaentamiento del aire soplado) (36)

$$EF = (131,861.51 \times 100) / (422,667 + 0) = 31.20 \%$$

*** EFICIENCIA DE COMBUSTION (E.C)**

(Calores de reacción) Tabla 50 AFS = $\text{CO} + 1/2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 67,636.00 \text{ kcal}$

(Calores de formación) Tabla 50 AFS = $\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + 57,798.00 \text{ kcal}$

- Calor latente de CO:

Datos: - CO de la combustión de coque y descomposición de
humedad (IIIb) = 2.39 kg-mol

$$= 2.39 \times 67,636.1 = 161,978.43 \text{ kcal}$$

- Calor latente del H₂:

Datos: - H₂ de la descomposición del H₂O(IIIc) = 0.19 kg-mol

$$= 0.19 \times 57,798 = 10,795.88 \text{ kcal.}$$

TOTAL CALOR LATENTE = $161,978.43 + 10,795.8 = 172,774.32 \text{ kcal}$

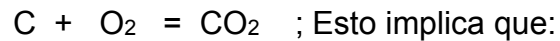
E.C = ((Calor Potencial en. Coque - Total calor latente) x 100) / calor potencial

en el coque (37)

$$\text{E.C} = \frac{((422,667 - 172,774.32) \times 100)}{422,667} = 59.12 \%$$

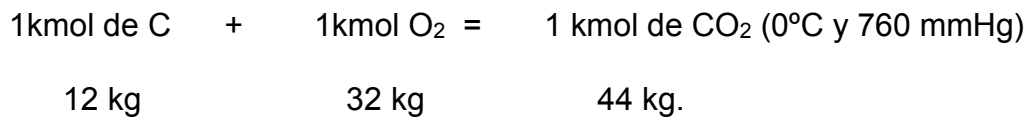
4.4. Cálculo para encontrar el volumen de aire ideal a inyectar en el horno.

1.- Comenzaremos por señalar la reacción de combustión:



1 molécula de C (1 átomo) mas 1 molécula de O₂ (2 átomos) para formar 1 molécula de CO₂.

En los mismos términos podemos expresar:



1 kmol de cualquier gas ocupa un volumen de 22.41 m³, luego

Si se quema 12 kg (1kmol) de C , se emplean 22.41 m³ de O₂ y se forma 22.41 m³ de CO₂.

Al utilizar estos términos en el cubilote diremos que: el O₂ es suministrado por el aire inyectado mediante el ventilador al sistema; pero:

- El aire atmosférico contiene aproximadamente:

O₂: 21 % de por volumen luego el volumen de aire a soplar seria:

$$22.41/0.21 = \underline{\mathbf{106.7}} \text{ m}^3.$$

N₂ del aire contiene 79 % en volumen seria:

$$106.7 \quad \times \quad 0.79 = 84.29 \text{ m}^3 \text{ (efecto inerte)}$$

- Si la combustión fuera perfecta el gas que sale por la chimenea del horno sería 22.41 m^3 de CO_2 y $(84.29 \text{ m}^3$ de N_2 un total de **106.7** m^3 (Este volumen es igual a volumen del aire inyectado al sistema)

** De lo descrito se observa que el volumen de aire a inyectar en el cubilote por medio del ventilador es fundamental, además las reacciones en la realidad no son perfectas, al entender esto nos lleva como metalurgista a tratar de calcular de manera aproximada a las necesidades del sistema para no contaminar el medio ambiente, utilizando el recurso aire en su magnitud necesaria para hacer sustentable el trabajo del horno.

2.- El siguiente paso que se ha tomado es la obtención de valores para trabajar. En la bibliografía se encuentra en las tablas ideadas por Jungbluth resaltando los siguientes parámetros:

- Volumen de aire; para nuestro trabajo Vol_{aire}
- Régimen de Fusión RegFusi
- Relación Fe/ C $\text{Rel. Fe/C} = 10/1$
- Temperatura del metal en piquera Temp.

3.- Al utilizar el procedimiento estadístico se observa que la curva de los mínimos cuadrados es lo ideal para el tratamiento de estos valores y el fin que se percibe; entonces se fija que el parámetro Volumen de aire debe ser independiente porque de acuerdo a este va variar el sistema como queda sustentado en el párrafo 1.

- Para el primer paso se grafica como valor dependiente al RegFusi el cual nos da una nube de puntos que al trazar la recta de regresión expresada en la ecuación de la recta $y = b + mx$ y además se obtiene el grado de confiabilidad (r^2) que debe tener dicho resultado, expresado en la mínima dispersión que debe tener estos puntos (esto se acepta hasta 0.98 , ideal 1.)
- Para relacionar los valores para el caso de la Temp determino que sea el valor dependiente y el RegFusi valor independiente (el cual esta dependiente del Vol_{aire})

Estos valores tienen el mismo tratamiento que el anterior y el resultado también son expresadas como ecuaciones de la recta.

* La expresión de estas ecuaciones son:

$$\text{RegFusi} = b(1) + m(1)*\text{Vol}_{\text{aire}}. \quad (38)$$

$$\text{Temp} = b(2) + m(2)*\text{RegFusi} \quad (39)$$

4.- Se tabula estas ecuaciones encontradas en relación a la proporción de Fe/C (8,10,12), además como estas están señaladas para cada diámetro de horno (\emptyset), en cada relación Fe/C..

En este tabla se observa que las pendientes ($m(1)$, $m(2)$) de las ecuaciones encontradas sus valores se aproximan, esto quiere decir que si conservamos las pendientes tendremos la posibilidad de conservar las mismas propiedades de acuerdo a los parámetros utilizados y si estos los extrapolamos a los valores que deseo obtener tengo los resultados bastante

semejantes a los hornos industriales (diámetro interno mayores de 50 cm.) cuyos valores me sirven de base. Para encontrar los valores del pequeño horno (diámetro menores de 30 cm.) que es el motivo de mi tesis

Referente al termino de b (punto de intersección de la recta con la coordenada y) de acuerdo a una propiedad de la recta que si conservo la pendiente (m) la intersección (b) puede ser cualquier cantidad y esta siempre conservará su paralelismo y si conservo su paralelismo tengo la misma pendiente, por consiguiente las mismas propiedades de los parámetros de origen.

Luego de esto el parámetro b (b(1), b(2)), lo voy a relacionar con el diámetro del horno (\emptyset), mediante la ecuación de la recta, para que el resultado este referido al diámetro, entonces este será el término independiente y la b el término dependiente , pero como la nube de datos obtenidos tienen mucha dispersión, se corrige expresando los términos en logaritmos (base 10), cuyos resultados son expresados bajo la forma de :
 $\text{Log}(y) = b_3 + m \cdot \log(x)$ expresa para nuestra relación seria : $\log(b) = b_3 + m_3 \log(\emptyset)$, si en esta ecuación reemplazo a (\emptyset) por un valor numérico estaría relacionando el diámetro a las ecuaciones y conservando las pendientes (para esto se saca la media aritmética para aproximarse mas a la práctica) se obtiene las ecuaciones que cumplen con el propósito de relacionar estos parámetros (Vol_{aire}, RegFusi, \emptyset . y Temp.) para cada relación de Fe/C.de la siguiente forma para el caso de la rel 10:

$$\text{RegFusi}_{10} = (10^{(-0.77 + (1.19 * (\log(\emptyset))))}) + (0.0925 * \text{Vol}_{\text{aire}}) \quad (40)$$

$$\text{Temp}_{10} = (10^{(3.16 + (-0.03 * (\log(\emptyset))))}) + (5.3575 * \text{RegFusi}_{10}) \quad (41)$$

$$(y) = (b) + (m) * (x)$$

5.- Este sería el resultado de las expresiones que sirven para valorar las cantidades estudiadas para los hornos de producción y relacionarlas a los hornos de pequeña producción como es el caso:

En la ecuación de RegFusi10 se reemplaza el valor de \emptyset , para nuestro caso es 28 cm., con este valor se construye el horno y se hace valor constante, el valor de Vol_{aire} se va acomodando hasta obtener un **VALOR IDEAL** reemplazándolo en la ecuación obteniendo el valor de RegFusi, y este valor se reemplaza en la ecuación de Temp10., obteniendo el valor buscado para la producción indicada.

6.- Para encontrar el valor ideal se procede de la siguiente forma:

Este valor se encuentra haciendo uso de la **tabla N° 22**

Rel 10				CALOR				
\emptyset	0.28	m		Pot Coque	456647.96	kcal		
Vol _{aire}	4.9	m ³ /min		Cont en Hierro	151,926.93	kcal		
Temp	1,504	°C		Cont en Gases	61,460.97	kcal		
RegFusi	0.491	Tn/Hr	491	Cambio quimic	297,238.83	kcal	Peso aire	490.44
EF	33.26	%					Peso gas	564.52

Para este peso del aire debe ser igual al peso del Régimen de Fusión, entonces jugamos valores en esta tabla que ya esta fijada para el diámetro de 28 cm. y solo el Vol_{aire} se puede variar hasta que el valor de $RegFusi$ sea igual al peso de aire, encontrado este será el valor ideal, a la vez me da el peso de los gases de escape por la chimenea, también me da el coeficiente de fusión del horno que es muy importante porque este puede variar dentro de cierto limites (30-50, ideal para nuestro tema es el valor obtenido en el desarrollo de la termoquímica $EF = 31.19 \%$),

****OBTENIDO EL VALOR DEL VOLUMEN DE AIRE A INYECTAR EN EL HORNO, ACOMPAÑADO DEL REGIMEN DE FUSION, TEMPERATURA DEL METAL EN PICO, LA EFICIENCIA DE FUSION, PESO DEL VOLUMEN DE AIRE Y PESO DE LOS GASES DE ESCAPE POR LA CHIMENEA , POR CONSIGUIENTE HEMOS CUMPLIDO CON NUESTRO PROPÓSITO DE LA TESIS.**

LOS RESULTADOS DE LA TESIS ES:

- Rel Fe/C 10/1
- Diámetro del horno 0.28 m
- Volaire..... 4.90 m³/min
- Temp (en pico)..... 1,504 °C
- RegFusi 0.491 Tn/Hr.
- EF 33.26 %
- Peso del vol de aire inyectado.....490.4 kg
- Peso de vol de gases de escape por chimenea564.52 kg.

4.5. RESUMEN DE LOS CÁLCULOS

- ESTRUCTURA
- CARGA
- TERMOQUÍMICA
- CÁLCULO DE FERROALEACIONES.

Figura 4 : Horno proyectado en la Tesis para la UNI

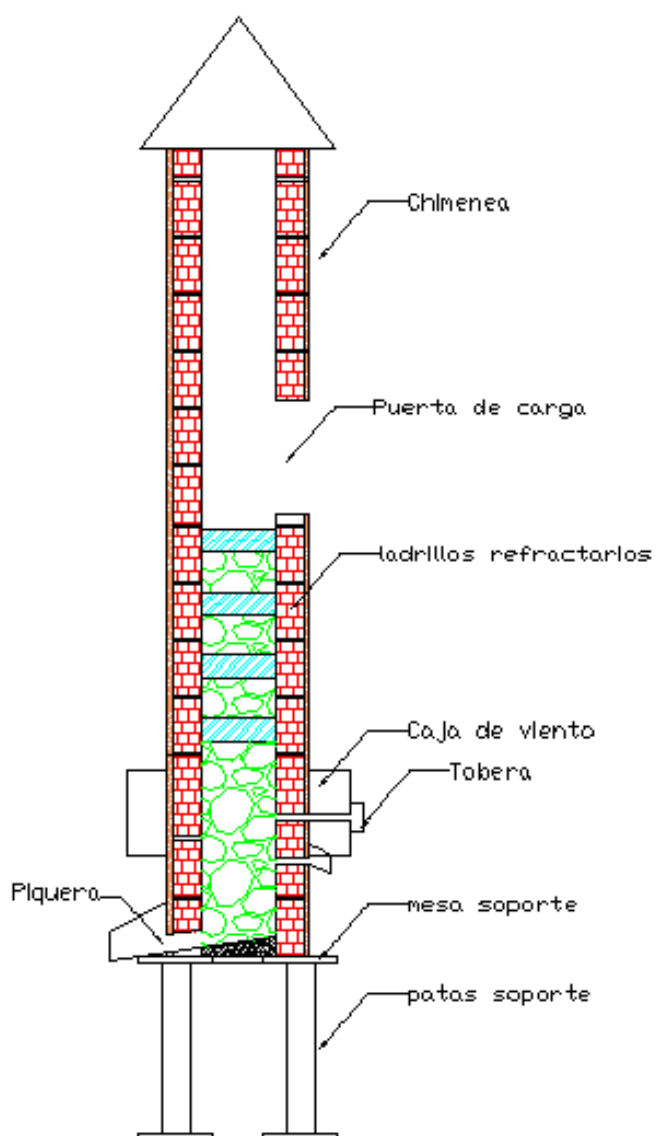


Tabla N° 3 :Dimensiones para la construcción del horno cubilote

N°	Nombre	Símbolo	Valores	Medida
1	Producción	P	475.00	kg/Hr
2	Cantidad de calor necesaria para fundir, un peso de fundición	Q	135,688.50	kcal
3	Carga de Carbón	Pc	4.39	kg
4	Carga metálica	Pm	43.94	kg
5	Carga de fundente	Pf	1.43	kg
6	Sección	Si	6.18	dm ²
7	Diámetro interior	di	2.80	dm,
8	Altura de Carbón	hc	1.58	dm
9	Cantidad de Fe-crisol (2 cargas)	Pfe-cri	70.31	kg
10	Cantidad de Fe por picada (Pm-picada)	Pp	35.15	kg
11	Altura del crisol	Hc	3.62	dm
12	Altura total de toberas	Htob	5.12	dm
13	Altura del cubilote	H	16.82	dm
14	Cantidad de aire necesario a introducir al cubilote	Qv	6.42	m ³ /minuto
15	Numero de toberas	N°tob	3.00	
16	Volumen de carga de Fe	Vm	5.58	dm ³
17	Altura de carga de Fe	hm	0.90	dm
18	Altura total de carga	ht,	2.49	dm
19	Altura. Carbón -cama arriba de toberas	hc-cama-t	3.05	dm
20	Altura total de cama	HT-cama	8.17	dm
21	Volumen carbón de cama	Vc-cama	50.46	dm ³
22	Peso de carbón en cama	Pc-cama	22.71	kg
23	Numero de cargas en el horno	N carga	3.48	
24	Sección total de toberas	s1	0.62	dm ²
25	Diámetro de toberas	Di-tob	0.93	dm
26	Diámetro de tubo de ventilador	s2	1.48	dm
27	Sección de cámara de aire	s3	4.06	dm ²
28	altura de cámara de aire	a	2.96	dm
29	ancho de cámara de aire	b	1.48	dm

Tabla N°4 : Cálculo de carga para el horno cubilote

di (dm)	2.80													
Pc (Kg)	4.39													
Pm (Kg)	43.94													
DATOS DE HORNO PARA														
(PERDIDAS)-GANANCIAS			30%		-15%		-18%		0%		40%			
			CARBON		SILICIO		MANGANESO		FOSFORO		AZUFRE			
COMPONENTES DE CARGA	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg		
ARRABIO	0.00	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000	0.0000		
CHATARRA FUND MECANIZ.	70.00	30.760	3.300	2.3100	1.600	1.1200	0.700	0.4900	0.300	0.2100	0.080	0.0560	capello/304-278	
RETORNO	27.00	11.865	2.800	0.7560	1.700	0.4590	0.400	0.1080	0.350	0.0945	0.080	0.0216		
Sub total		42.625				1.5790		0.5980						
Ferroaleaciones	3.00	1.318	0.000	0.0000		0.4335		-0.0080	0.000	0.0000	0.000	0.0000		
Incremento ferroalec.													FeSi 45 % , kg	FeMn 75%, kg
Composicion estimada en Fe cargado	100.00	43.943	3.066	3.0660	2.0125	2.0125	0.5900	0.5900	0.3045	0.3045	0.0776	0.0776	0.423	-0.0047
Analisis estimado en pico de cubilote			3.9858		1.71063		0.4838		0.3045		0.1086			
C.estabiliza3.5%(capello/302)														
Valores Teoricos Tabla(apraiz/59)			3.250	3.250	1.750	1.750	0.500	0.500	0.250	0.250	0.100	0.100		

*(Negritas)valores dados en laboratorio

Tabla N°5: Balance térmico en el horno cubilote**METODO ALTERNATIVO BASADO EN LA LEY DE HESS.**

1	Peso de la carga de metal	43.94	kg
2	Peso de la carga de coque	4.39	kg
3	Peso de carga de caliza	1.43	kg
4	Regimen de fusion de Fe cargadas	475.00	kg/Hr.
5	Regimen de consumo de coque	66.65	kg/Hr.
6	Caliza cargada	14.28	kg/Hr.
7	Contenido de CaCO ₃ de la caliza	92.00	%
8	Regimen de soplado	7.85	m3/minuto
9	Volumen de soplado	470.82	m3/Hr
10	Temperatura del aire soplado	17.00	°C
11	Temperatura ambiente	17.00	°C
13	Presion barometrica	749.00	mmHg
14	Temperatura promedio de sangria	1,350.00	°C
15	Contenido de C fijo en el coque (analisis)	89.00	%
16	Contenido de C en el Fe cargado	3.07	%
17	Contenido de C en el Fe sangrado	3.99	%
18	Contenido de Si en la carga	2.01	%
19	Contenido de Si en el Fe sangrado	1.71	%
20	Contenido de Mn en la carga	0.59	%
21	Contenido de Mn en el Fe sangrado	0.48	%
22	Contenido de CO ₂ en el gas de derrame (analisis)	13.00	%
23	Temp.de gases de derrame(antes de su encendido)	454.00	°C
24	Contenido de CaO en la escoria	20.52	%
25	Contenido de FeO en la escoria	2.00	%
26	Peso atomico del Fe	55.85	
27	Peso atomico del Si	28.09	
28	Peso atomico del Mn	54.93	
29	Peso atomico del C	12.01	
30	Peso atomico del O	16.00	
31	Peso atomico del N	14.00	
32	Peso atomico del H	1.00	
33	Peso de CO ₂	44.01	
34	Peso de CO.	28.01	
35	Peso del CaCO ₃	100.09	
36	Peso del SiO ₂	60.09	
37	Peso del CaO	56.10	
38	Peso del FeO	71.80	
39	Peso del MnO	70.93	
40	1 kg=2.2046	2.2046	lbs.
41	Gramos de agua x pie ³	3.90	
42	% de N ₂ en el aire	79.00	%
43	% de O ₂ en el aire	21.00	%
44	G.	53.00	
45	1lb.=7.000,00 granos	7,000.00	granos.

BALANCE DE MATERIALES.**ENTRADA:**

1.-	Metal:						
1.a	Fe:		8.50	kg-mol			
1.b	Si		0.34	kg-mol			
1.c	Mn		0.05	kg-mol			
1.d	C		1.21	kg-mol			
2.-	Piedra Caliza						
2.a	CaCO ₃		0.13	kg-mol			
2.b	SiO ₂		0.02	kg-mol			
3.-	Coque						
3.a	C		4.94	kg-mol			
3.b	SiO ₂		0.12	kg-mol			
4.-	Perdida de Refractario						
*	Peso de CaCO ₃ cargado hora		13.14				
*	Peso escoria formada hora		35.89				
*	Peso Fe sangrado hora		474.44				
4.a	SiO ₂ :	Si en el Fe salida	0.29				
		Si en escoria	0.45		35.89	7.36	0.72
		Si en Fe carga	0.34				0.65
		Si en caliza carga	0.02				
		Si en coque carga	0.12				
			0.26	kg-mol			
5.-	Aire						
5.a1	Oxig. Necesario para quemar el coque.						
*	Análisis de los gases de escape:						
		CO ₂	13.00				
	De Tabla 46	CO.	13.2				
		N ₂	73.8				
*	1 mol de gas de escape tendra:						
		CO ₂	0.130	kg-mol			
		CO.	0.132	kg-mol			
		N ₂	0.738	kg-mol			
*	1 mol de gas de escape es producida por: tendra:						
			0.262	kg-mol de C			
	En Kg sera:		3.15	kg.			
*	C. Cargado por hora:		59.32	kg.			
*	C.perdido en la descomposicion de humedad:						
			6.68	kg.			
*	C quemado x Hora		52.64	kg.			
*	Moles de gas escape prod.xHr.		16.73	kg-mol			
*	El gas de escape contiene: CO ₂		2.17	kg-mol			
		CO	2.21	kg-mol			
*	Oxig. Necesario:						
		C + O ₂ = CO ₂	2.17	kg-mol			
		C + 1/2 O ₂ = CO	1.10	kg-mol			
	O ₂ . Necesario pa' quemarCoque		3.28	kg-mol			
5.a2	Oxig. Necesario pa' oxidar Fe		0.01	kg-mol			
5.a3	Oxig. Necesario pa' oxidar Si		0.05	kg-mol			
5.a4	Oxig. Necesario pa' oxidar Mn		0.01	kg-mol			
	Total Oxig. En aire utiliz. en la oxidacion(quema)		3.35	kg-mol			
5.b	Nitrogeno:		12.61	kg-mol			
5.c	Agua:						
5.c1	Hallando Peso de aire seco empleado:						
*	Kgs de aire necesario para quemar coque						
			104.92	kg.			
*	Total de moles de N ₂		12.35	kg-mol			
			345.66	kg.			
	Peso de aire seco empleado		450.58	kg.			
5c2	Humedad por lb. De aire seco		52.23	granos			
5c3	Humedad total en el aire soplado x Hr.		0.19	kg-mol			

**

SALIDA:

I.-	Metal:		
I.a	Fe	8.49	kg-moles
I.b	Si	0.29	kg-moles
I.c	Mn	0.04	kg-moles
I.d	C	1.57	kg-moles
II.-	Escoria		
II.a	CaO: igual a moles de CaCO ₃ cargado	0.13	kg-moles
	En kg seria	7.36	kg
II.b	FeO	0.01	kg-moles
	En kg seria	0.72	kg.
II.c	MnO: igual a perdida de Mn del metal	0.01	kg-moles
	En kg seria	0.65	kg.
II.d	SiO ₂ :	0.45	kg-moles
	En kg seria	27.15	kg
III	Gases de Escape:		
III.a	CO ₂ : de combustion de coque mas la cantid. obtenida por calcinacion de CaCO ₃	2.31	kg-moles
III.b	CO de la combustion de coque y descomposicion de Humedad.	2.39	kg-moles
III.c	H ₂ de la descomposicion del agua	0.19	kg-moles
III.d	N ₂ de la descomposicion del aire	12.61	kg-moles

0.30

17.50

Tabla N° 6 : Resumen para obtener el Calor Neto por cambio quimico.

ENTRADA			SALIDA		
	kg-moles	Calor de formacion Kcal/Hr (Tabla 49 AFS)		kg-moles	Calor de formacion Kcal/Hr (Tabla 49 AFS)
METAL			METAL		
Fe ₃ C	1.21	-6,063.07	Fe ₃ C	1.57	-7,872.73
FeSi	0.34	6,534.00	FeSi	0.29	5,547.37
Mn	0.05		Mn	0.04	
Fe	8.50		Fe	8.49	
CALIZA			ESCORIA		
CaCO ₃	0.13	37,865.42	CaO.SiO ₂	0.13	49,620.82
SiO ₂	0.02	3,899.68	MnO.SiO ₂	0.01	3,304.38
COQUE					
C	4.94	-11,755.04	FeO.SiO ₂	0.01	2,759.13
SiO ₂	0.12	25,023.97	SiO ₂	0.30	61,806.64
REFRACTARIOS			GASES DE ESCAPE		
SiO ₂	0.26	53,211.42	CO ₂	2.31	216,873.13
AIRE			CO	2.39	63,262.50
O ₂	3.35		H ₂	0.19	
N ₂	12.61		N ₂	12.61	
H ₂ O	0.19	10,795.88			
TOTALES		119,512.25			395,301.24
CALOR NETO DE CAMBIO QUIMICO POR HORA en Kcal					275,788.99

Tabla N° 7 CONTENIDO DE CALOR DE LOS GASES DE ESCAPE.

	peso de gas kg.	Calor medio (454-25)T 48 AFS	Contenido Calor gases Kcal
CO2	101.48	0.2408	10,483.42
CO	67.08	0.2556	7,355.47
H2	0.37	3.463	554.99
N2	353.05	0.2538	38,440.03
Total pesogas	521.98		56,833.91

Peso de la humedad en el aire soplado

3.36 kgs

**

Tabla N° 8 CALOR SUMINISTRADO:

Pre calentamiento del aire soplado	0.00	Kcal	O2	23.40
Cambios quimicos	275,788.99	Kcal	N2	86.07
Totales	275,788.99	Kcal	H2O	1.52
				110.98

Tabla N° 9 CALOR GASTADO:

Contenido de calor del hierro	131,861.81	Kcal
Contenido de calor en la escoria	15,351.74	Kcal
Calor contenido en los gases de escape.	56,833.91	Kcal
Perdida por radiacion (diferencia)	71,741.53	Kcal
Totales	275,788.99	Kcal

Calor potencial en el coque

422,667.18 Kcal

Eficiencia de fusion	31.20	%
-----------------------------	--------------	----------

Eficiencia de combustion

Tabla 50 AFS	CO+1/2O2=CO2	+	67,636.00	Kcal
Tabla 49 AFS	H2+1/2O2=H2O	+	57,798.00	Kcal
	Calor latente del CO		161,978.43	Kcal
	Calor latente del H2		10,795.88	Kcal
	Total		172,774.32	Kcal

Eficiencia de combustion	59.12	%
---------------------------------	--------------	----------

CALCULO PARA LAS FERROALEACIONES:

Peso del metal = 43.94 kg.

La pieza debe tener la siguiente composición:

C = 3.25 %

Si = 1.75 %

Mn = 0.5 %

P = 0.25 %

S = 0.1 %

Perdidas y ganancias en cubilote (oxidaciones)

Si = 15 % , Mn + 18 % , S disminuye 40 %

Tabla N° 10 Análisis químico de los componentes de carga

	%Peso	%C	%Si	%Mn	%P	%S
Arrabio	0	0	0	0	0	0
Chat fund	70	3.3	1.6	0.7	0.3	0.08
Retorno	27	2.8	1.7	0.4	0.35	0.08
Chat acero	0	0	0	0	0	0
Ferroaleaciones	3	0	2.5	0	0	0

Cada Kg de ferroaleacion contiene:

1kg de FeSi contiene 0.45 kg de Si.

1kg de FeMn contiene 0.75 de Mn

La oxidación del Si y (FeSi) es cerca del 15 %

La oxidación del Mn y (FeMn) es cerca del 18 %

SOLUCION:

Sea $X\%$ = El % buscado de Si en la carga.

$Y\%$ = El % buscado de Mn en la carga.

La oxidación del Si durante la fusión es $+ 0.15 X$

La oxidación del Mn durante la fusión es $+ 0.18 Y$

El metal liquido queda :

$$\text{Si : } X - 0.15 X = 0.85 X$$

$$\text{Mn : } Y - 0.18 Y = 0.82 Y$$

Luego la carga tendrá:

Si : $0.85 X = 1.75 \text{ Si}$; la carga $X = 2.06\% \text{ Si}$

Mn : $0.80 Y = 0.5 \text{ Mn}$; la carga $Y = 0.610\% \text{ Mn}$

2.- Calculo de componentes de carga:

Tabla N° 11: Componentes de carga.

	Peso		Contenido de elementos en la carga.				
	kg	%	% C	% Si	% Mn	% P	% S
Arrabio	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chat fund	30.76	70	2.310	1.120	0.490	0.210	0.0560
Retorno	11.86	27	0.756	0.459	0.108	0.095	0.0216
Chat acero	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ferroaleacion	1.318	3	0.00	0.075	0.00	0.00	0.00
Total	43.94	100	3.066	1.65	0.600	0.305	0.0776

Observamos: C: Se aproxima a la cantidad de la pza a fundir.

Si: Es 2.06% no alcanza para la carga de 1.65% le falta 0.40 % Si

Para la carga de 43.9 kg falta 0.18 kg de Si

Para introducir Si bajo la forma de FeSi sera:

1 Kg de FeSi contiene 0.45 kg de Si. La oxidación de Si del FeSi esta

En 15% luego la pieza fundida por 1 kg de FeSi ira: 0.383 kg de Si.

Por consiguiente es necesario agregar a la carga no menos del 0.383 kg

De Si en 1 kg de FeSi, cuantos kg de FeSi que contiene 0.18 kg de Si

0.465 kg FeSi para carga de 43.9kg.

Mn: Es 0.6% no alcanza para la carga de 0.6% le falta 0.01 % Mn

Para la carga de 43.9 kg falta 0.005 kg de Mn

Para introducir Mn bajo la forma de FeMn sera:

1 Kg de FeMn contiene 0.75 kg de Mn. La oxidación de Mn del FeMn esta

En 18% luego la pieza fundida por 1 kg de FeMn ira: 0.53 kg de Mn.

Por consiguiente es necesario agregar a la carga no menos del 0.53 kg

De Mn en 1 kg de FeMn, cuantos kg de FeMn que contiene 0.005 kg de Mn

0.10 kg FeMn para carga de 43.9kg.

4.6. Procedimiento para hallar el volumen de aire ideal a inyectar en el horno

4.6.1.- Valores obtenidos a partir de las curvas de Junbluth

Tabla 12: VALORES SACADOS DE AFS CONSTANTE REL Fe/C=8/1 (Pag 803...)

8	Cubi 914 Ø			Cubi 1067 Ø			Cubi 1219 Ø			Cubi 1676 Ø		
	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire
1	1512	6.05	74.80	1522	9.00	112.80	1525	11.70	147.18	1529	20.40	274.30
2	1511	5.90	73.40	1520	8.80	110.00	1522	11.50	144.38	1528	20.00	268.22
3	1510	5.85	72.00	1517	8.60	107.20	1521	11.30	141.58	1527	19.60	262.14
4	1509	5.75	70.60	1516	8.40	104.40	1520	11.10	138.78	1526	19.20	256.06
5	1508	5.65	69.20	1515	8.20	101.60	1519	10.90	135.98	1524	18.80	249.98
6	1506	5.50	67.80	1513	8.00	98.80	1518	10.70	133.18	1522	18.40	243.90
7	1505	5.35	66.40	1512	7.80	96.00	1517	10.50	130.34	1520	17.80	237.82
8	1504	5.25	65.00	1510	7.60	93.20	1516	10.30	127.50	1519	17.40	231.74
9	1502	5.15	63.60	1509	7.35	90.40	1515	10.10	124.66	1518	17.00	225.66
10	1500	5.05	62.20	1507	7.10	87.60	1513	9.85	121.82	1516	16.40	219.58
11	1499	4.90	60.80	1505	6.90	84.80	1512	9.65	118.98	1514	16.00	213.50
12	1497	4.80	59.40	1501	6.75	82.00	1510	9.35	116.14	1512	15.60	207.42
13	1496	4.70	58.00	1499	6.45	79.20	1509	9.20	113.30	1510	15.20	201.34
14	1494	4.60	56.60	1496	6.20	76.40	1507	8.90	110.46	1506	14.60	195.26
15	1492	4.50	55.20	1493	6.00	73.60	1505	8.70	107.62	1502	14.20	189.18
16	1488	4.35	53.80	1488	5.70	70.80	1504	8.50	104.78	1498	13.80	183.10
17	1485	4.25	52.40	1484	5.50	67.90	1501	8.30	101.94	1494	13.40	177.02
18	1482	4.10	51.00	1478	5.30	65.10	1499	8.05	99.10	1489	12.80	170.94
19	1477	4.00	49.60	1473	5.10	62.30	1496	7.80	96.26	1486	12.60	164.86
20	1475	3.90	48.20	1467	4.90	59.50	1493	7.55	93.42	1482	12.20	158.78
	1472	3.80	46.80	1462	4.65	56.70	1490	7.30	90.58	1478	11.60	152.70

Tabla 13: VALORES SACADOS DE AFS CONSTANTE REL Fe/C=10/1 (Pag 803...)

10	Cubi 914 Ø			Cubi 1067 Ø			Cubi 1219 Ø			Cubi 1676 Ø		
	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire
1	1477	6.65	69.20	1486	10.80	110.28	1489	12.80	133.12	1494	24.00	268.20
2	1476	6.50	67.80	1485	10.50	107.46	1488	12.50	130.26	1493	23.50	262.10
3	1476	6.35	66.40	1484.5	10.00	104.64	1487	12.20	127.40	1492	23.30	256.00
4	1475	6.25	65.00	1484	9.80	101.82	1486	12.00	124.54	1491	22.70	249.90
5	1474	6.10	63.60	1483	9.50	99.00	1485	11.70	121.68	1490	22.00	243.80
6	1474	6.00	62.20	1482	9.30	96.18	1484	11.30	118.82	1489	21.50	237.70
7	1473	5.90	60.80	1481	9.00	93.36	1483	11.10	115.96	1488	21.00	231.60
8	1472	5.80	59.40	1480	8.70	90.54	1482	10.80	113.10	1487	20.50	225.50
9	1471	5.70	58.00	1478	8.40	87.72	1481	10.60	110.24	1486	19.90	219.40
10	1470	5.50	56.60	1476	8.10	84.90	1480	10.30	107.38	1485	19.40	213.30
11	1468	5.30	55.20	1475	7.90	82.08	1476	10.00	104.52	1484	18.90	207.20
12	1466	5.15	53.80	1473	7.60	79.26	1475	9.80	101.66	1483	18.40	201.10
13	1465	5.00	52.40	1472	7.40	76.44	1473	9.50	98.80	1483	17.80	195.00
14	1463	4.90	51.00	1470	7.10	73.62	1472	9.20	95.94	1480	17.20	188.90
15	1462	4.75	49.60	1467	6.80	70.80	1471	8.90	93.08	1478	16.80	182.80
16	1460	4.65	48.20	1466	6.50	67.98	1469	8.70	90.22	1476	16.20	176.70
17	1457	4.50	46.80	1463	6.30	65.16	1467	8.40	87.36	1474	15.60	170.60
18	1455	4.35	45.40	1460	6.00	62.34	1466	8.20	84.50	1472	15.20	164.50
19	1452	4.20	44.00	1459	5.80	59.52	1464	7.90	81.64	1470	14.60	158.40
20	1450	4.10	42.60	1452	5.50	56.70	1462	7.60	78.78	1467	14.00	152.30

Tabla 14: VALORES SACADOS DE AFS CONSTANTE REL Fe/C=12/1 (Pag 803...)

12	Cubi 914 Ø			Cubi 1067 Ø			Cubi 1219 Ø			Cubi 1676 Ø		
	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire
1	1458	7.00	65.00	1467	10.90	101.82	1467	12.70	119.12	1475	23.60	237.80
2	1457	6.85	63.60	1466	10.60	99.00	1466	12.40	116.26	1474	23.10	231.70
3	1456	6.70	62.20	1465	10.30	96.18	1465	12.10	113.40	1473	22.60	225.60
4	1455	6.55	60.80	1464	10.00	93.36	1464	11.90	110.54	1472	22.00	219.50
5	1454	6.45	59.40	1463	9.70	90.54	1463	11.60	107.68	1471	21.40	213.40
6	1454	6.30	58.00	1462	9.40	87.72	1462	11.40	104.82	1470	20.80	207.30
7	1453	6.15	56.60	1461	9.20	84.90	1461	11.05	101.96	1468	20.40	201.20
8	1452	6.00	55.20	1460	8.90	82.08	1460	10.80	99.10	1467	19.80	195.10
9	1451	5.85	53.80	1458	8.60	79.26	1458	10.50	96.26	1466	19.10	189.00
10	1450	5.70	52.40	1456	8.35	76.44	1457	10.20	93.42	1465	18.60	182.90
11	1449	5.55	51.00	1455	8.05	73.62	1455	9.90	90.58	1464	18.00	176.80
12	1447	5.40	49.60	1453	7.75	70.80	1454	9.60	87.74	1463	17.40	170.70
13	1446	5.25	48.20	1452	7.45	67.98	1453	9.30	84.90	1461	16.65	164.60
14	1445	5.10	46.80	1450	7.15	65.16	1451	9.00	82.06	1459	16.00	158.50
15	1443	4.95	45.40	1447	6.85	62.34	1450	8.60	79.22	1457	15.40	152.40

4.6.2.- Valores de curva de Jungbluth seleccionados con aproximación a las cantidades encontradas

Tabla N°15: VALORES SACADOS DE AFS CONSTANTE REL Fe/C=8/1 (Pag 803...)

<u>Cubi 914 Ø</u>			<u>Cubi 1067 Ø</u>			<u>Cubi 1219 Ø</u>			<u>Cubi 1676 Ø</u>			
Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	
1	1512	6.05	74.80	1512	7.80	96.00	1512	9.65	118.98	1512	15.60	207.42
2	1511	5.90	73.40	1510	7.60	93.20	1510	9.35	116.14	1510	15.20	201.34
3	1510	5.85	72.00	1509	7.35	90.40	1509	9.20	113.30	1506	14.60	195.26
4	1509	5.75	70.60	1507	7.10	87.60	1507	8.90	110.46	1502	14.20	189.18
5	1508	5.65	69.20	1505	6.90	84.80	1505	8.70	107.62	1498	13.80	183.10
6	1506	5.50	67.80	1501	6.75	82.00	1504	8.50	104.78	1494	13.40	177.02
7	1505	5.35	66.40	1499	6.45	79.20	1501	8.30	101.94	1489	12.80	170.94
8	1504	5.25	65.00	1496	6.20	76.40	1499	8.05	99.10	1486	12.60	164.86
9	1502	5.15	63.60	1493	6.00	73.60	1496	7.80	96.26	1482	12.20	158.78
10	1500	5.05	62.20	1488	5.70	70.80	1493	7.55	93.42	1478	11.60	152.70

Tabla N°16: VALORES SACADOS DE AFS CONSTANTE REL Fe/C=10/1 (Pag 803...)

<u>Cubi 914 Ø</u>			<u>Cubi 1067 Ø</u>			<u>Cubi 1219 Ø</u>			<u>Cubi 1676 Ø</u>			
Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	
1	1477	6.65	69.20	1483	9.50	99.00	1483	11.10	115.96	1483	18.40	201.10
2	1476	6.50	67.80	1482	9.30	96.18	1482	10.80	113.10	1483	17.80	195.00
3	1476	6.35	66.40	1481	9.00	93.36	1481	10.60	110.24	1480	17.20	188.90
4	1475	6.25	65.00	1480	8.70	90.54	1480	10.30	107.38	1478	16.80	182.80
5	1474	6.10	63.60	1478	8.40	87.72	1476	10.00	104.52	1476	16.20	176.70
6	1474	6.00	62.20	1476	8.10	84.90	1475	9.80	101.66	1474	15.60	170.60
7	1473	5.90	60.80	1475	7.90	82.08	1473	9.50	98.80	1472	15.20	164.50
8	1472	5.80	59.40	1473	7.60	79.26	1472	9.20	95.94	1470	14.60	158.40
9	1471	5.70	58.00	1472	7.40	76.44	1471	8.90	93.08	1467	14.00	152.30
10	1470	5.50	56.60	1470	7.10	73.62	1469	8.70	90.22			

Tabla N°17 : VALORES SACADOS DE AFS CONSTANTE REL Fe/C=12/1 (Pag 803...)

<u>Cubi 914 Ø</u>			<u>Cubi 1067 Ø</u>			<u>Cubi 1219 Ø</u>			<u>Cubi 1676 Ø</u>			
Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	Temp	RegFusi	Vol aire	
1	1458	7.00	65.00	1465	10.30	96.18	1465	12.10	113.40	1465	18.60	182.90
2	1457	6.85	63.60	1464	10.00	93.36	1464	11.90	110.54	1464	18.00	176.80
3	1456	6.70	62.20	1463	9.70	90.54	1463	11.60	107.68	1463	17.40	170.70
4	1455	6.55	60.80	1462	9.40	87.72	1462	11.40	104.82	1461	16.65	164.60
5	1454	6.45	59.40	1461	9.20	84.90	1461	11.05	101.96	1459	16.00	158.50
6	1454	6.30	58.00	1460	8.90	82.08	1460	10.80	99.10	1457	15.40	152.40
7	1453	6.15	56.60	1458	8.60	79.26	1458	10.50	96.26			
8	1452	6.00	55.20	1456	8.35	76.44	1457	10.20	93.42			
9	1451	5.85	53.80	1455	8.05	73.62	1455	9.90	90.58			

4.6.3.- CALCULOS ESTADISTICOS REALIZADOS PARA OBTENER LAS CURVAS REPRESENTATIVAS

1. Valores obtenidos a partir de las curvas Jungbluth
2. Tomar los valores seleccionados de las curvas
3. Forma de hallar la recta de mínimos cuadrados para un cubilote de diámetro 914 mm relación Fe/C = 8/1

**Formula de la recta $Y=a+mX$

Tabla N°18: Valores para hallar la recta

N°	Temp	RegFusi Y	Voltaire X	Y ²	XY
1	1512	6.05	74.80	36.60	452.5
2	1511	5.90	73.40	34.81	433.1
3	1510	5.85	72.00	34.22	421.2
4	1509	5.75	70.60	33.06	406.0
5	1508	5.65	69.20	31.92	391.0
6	1506	5.50	67.80	30.25	372.9
7	1505	5.35	66.40	28.62	355.2
8	1504	5.25	65.00	27.56	341.3
9	1502	5.15	63.60	26.52	327.5
10	1500	5.05	62.20	25.50	314.1
Σ		55.50	685.00	309.08	3814.8

$$a = \frac{(\sum y) * (\sum x^2) - (\sum x) * (\sum xy)}{N \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{(55.5 * 47,084.2) - (685 * 3,814.8)}{(10 * 47,084.2) - (685)^2} = 0.03 \quad (42)$$

$$m = \frac{N(\sum xy) - (\sum x) * (\sum y)}{(N \sum x^2) - (\sum x)^2} = \frac{(10 * 3,814.8) - (685 * 55.5)}{(10 * 47,084.2) - (685)^2} = 0.08 \quad (43)$$

Luego la ecuación de la recta será: **$Y = 0.03 + 0.08 X$**

** Hallando el coeficiente de correlación lineal r (el cual me da el grado de confiabilidad de la recta)

Tabla N° 19 : Valores para hallar el coeficiente de correlación lineal y r.

N°	RegFusi y	Volaire x	X=x-x̄	Y=y-ȳ	X ²	Y ²
1	6.05	74.80	6.30	0.50	39.69	0.250
2	5.90	73.40	4.90	0.35	24.01	0.123
3	5.85	72.00	3.50	0.30	12.25	0.090
4	5.75	70.60	2.10	0.20	4.41	0.040
5	5.65	69.20	0.70	0.10	0.49	0.010
6	5.50	67.80	-0.70	-0.05	0.49	0.002
7	5.35	66.40	-2.10	-0.20	4.41	0.040
8	5.25	65.00	-3.50	-0.30	12.25	0.090
9	5.15	63.60	-4.90	-0.40	24.01	0.160
10	5.05	62.20	-6.30	-0.50	39.69	0.250
Σ	55.50	685.00	0.00	0.00	161.7	1.055

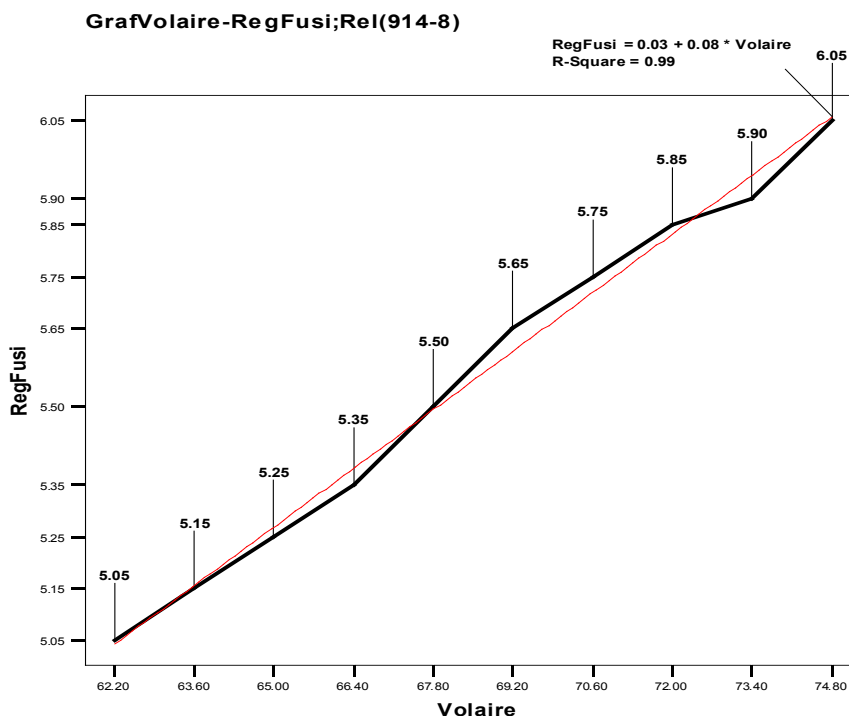
ȳ=55.5/10	x̄=685/10
ȳ=5.55	x̄=68.5

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 - \sum y^2}} = \frac{13.02}{\sqrt{161.7 - 1.055}} = 0.9968 \tag{44}$$

Esto demuestra que hay una correlación lineal entre las variables muy alta.

4.- Graficar los resultados: (De esta forma se calcula los datos ref al punto 2)

Figura N° 5 : Grafico de la curva y recta de mínimos cuadrados Rel (914-8)



4.6.4.- Resumen de ecuaciones resultantes para los valores de los cuadros anteriores

Tabla N° 20 : Ecuaciones de las rectas seleccionadas.

CUBI-914-8							
RegFusi=	0.03	.+	0.08	*		r2	0.99
Temp=	1442.8	.+	11.52	*		r2	0.98
CUBI-914-10							
RegFusi=	0.67	.+	0.09	*		r2	0.99
Temp=	1436.5	.+	6.12	*		r2	0.99
CUBI-914-12							
RegFusi=	0.42	.+	0.1	*		r2	1
Temp=	1416.3	.+	5.93	*		r2	0.99
CUBI-1067-8							
RegFusi=	-0.07	.+	0.08	*		r2	1
Temp=	1425.5	.+	11.28	*		r2	0.98
CUBI-1067-10							
RegFusi=	0.03	.+	0.1	*		r2	1
Temp=	1431.7	.+	5.46	*		r2	0.99
CUBI-1067-12							
RegFusi=	0.81	.+	0.1	*		r2	1
Temp=	1418.7	.+	4.56	*		r2	0.98
CUBI-1219-8							
RegFusi=	0.1	.+	0.08	*		r2	1
Temp=	1426.1	.+	9.02	*		r2	0.99
CUBI-1219-10							
RegFusi=	0.17	.+	0.09	*		r2	1
Temp=	1416.3	.+	6.06	*		r2	0.98
CUBI-1219-12							
RegFusi=	1.1	.+	0.1	*		r2	1
Temp=	1412.2	.+	4.38	*		r2	0.99
CUBI-1676-8							
RegFusi=	0.75	.+	0.07	*		r2	1
Temp=	1373.7	.+	8.97	*		r2	0.99
CUBI-1676-10							
RegFusi=	0.56	.+	0.09	*		r2	1
Temp=	1414.5	.+	3.79	*		r2	0.99
CUBI-1676-12							
RegFusi=	0.86	.+	0.11	*		r2	1
Temp=	1418.8	.+	2.51	*		r2	0.98

6.- Relacionando el diámetro del horno con la intersección y la pendiente de las ecuaciones de rectas halladas para obtener las ecuaciones de RegFusi y Temp para cada relación de Fe/C.

Tabla N° 21: Ecuaciones que relacionan la intersección y pendiente para obtener la ecuaciones finales para cada relación de Fe/C

RegFusi		RegFusi			RegFusi	
\emptyset	b		$\log(\emptyset)$	$\log(b)$	ECUACIONES	
Rel Fe/C= 8-1			(x)	(y)	$\emptyset - m$	
0.914	0.03	Voltaire	-0.0391	-1.5229	Graf (x1,y1),(x2,y2),(x3,y3),(x4,y4)	
1.067	1	Voltaire	0.0282	0.0000	Si $\emptyset =$	0.30
1.219	0.1	Voltaire	0.0860	-1.0000		
1.676	0.75	Voltaire	0.2243	-0.1249	-0.950	3.820
					$\log 8 = -0.95 + (3.82 * (\log(\emptyset)))$	0.0011
Rel Fe/C= 10-1					$\log(b) =$	-2.9474
0.914	0.67	Voltaire	-0.0391	-0.1739	b =	0.0011
1.067	0.03	Voltaire	0.0282	-1.5229		
1.219	0.17	Voltaire	0.0860	-0.7696		
1.676	0.56	Voltaire	0.2243	-0.2518	-0.770	1.190
					$\log 10 = -0.77 + (1.19 * (\log(\emptyset)))$	0.0405
Rel Fe/C= 12-1						
0.914	0.42	Voltaire	-0.0391	-0.3768		
1.067	0.81	Voltaire	0.0282	-0.0915		
1.219	1.1	Voltaire	0.0860	0.0414		
1.676	0.86	Voltaire	0.2243	-0.0655	-0.200	1.267
					$\log 12 = -0.20 + (1.267 * (\log(\emptyset)))$	0.1373
Temp		Temp			Temp	
\emptyset	b					
Rel Fe/C= 8-1						
0.914	1442.78	RegFus	-0.0391	3.1592		
1.067	1425.47	RegFus	0.0282	3.1540		
1.219	1426.06	RegFus	0.0860	3.1541		
1.676	1373.65	RegFus	0.2243	3.1379	3.160	-0.080
					$\log 8 = 3.16 + (-0.0797 * (\log(\emptyset)))$	1,591
Rel Fe/C= 10-1						
0.914	1436.53	RegFus	-0.0391	3.1573		
1.067	1431.65	RegFus	0.0282	3.1558		
1.219	1416.26	RegFus	0.0860	3.1511		
1.676	1414.49	RegFus	0.2243	3.1506	3.160	-0.030
					$\log 10 = 3.16 + (-0.03 * (\log(\emptyset)))$	1,499
Rel Fe/C= 12-1						
0.914	1416.25	RegFus	-0.0391	3.1511		
1.067	1418.66	RegFus	0.0282	3.1519		
1.219	1412.18	RegFus	0.0860	3.1499		
1.676	1418.82	RegFus	0.2243	3.1519	3.150	0.002
					$\log 12 = 3.15 + (0.0018 * (\log(\emptyset)))$	1,409

7.- Con estos valores específicos los reemplazo a los valores resultantes del Balance térmico realizado para cada valor de rel Fe/C (8/1,10/1,12/1) con diámetro interno del horno ($\varnothing = 0.28$ m)

Estos valores nos da un resultado de EF., luego los valores RegFusi son comparados con los valores del peso del volumen de aire, los cuales deben ser valores iguales ($\text{RegFusi} = \text{Peso de volumen de aire}$), con este valor se obtiene una EF, entonces esa cantidad es la IDEAL, además tenemos valores del peso del volumen de gases que salen por chimenea.

Estos resultados lo podemos ver en el cuadro siguiente (Tabla 6. Valores finales de relación de ecuaciones estadísticas con termoquímica y peso del aire inyectado al sistema, además del peso de los gases emitidos al ambiente.

4.8. Procedimiento experimental

PASOS SEGUIDOS EN LA PRUEBA:

1. Compra de materiales:

- 4 kg. de carbón vegetal (para encendido de cama)
- 100 kg. carbón mineral (Carbón antracita de Oyón) tamaño 3 pulg.
- 80 kg. de chatarra de Hierro Fundido
- 40 kg. de caliza.

2. Se prendió la cama lentamente, forzándolo con un abanico para el aire., y el incremento de carbón fue 2 kg. cada vez hasta llegar a prender el carbón a la altura de toberas, después se incrementó a razón de 5 kg. el carbón, pero se prendió el ventilador del horno con el aire al mínimo; hasta el prendido total de la cama, luego se apagó el ventilador y se dejó que el carbón siga prendiéndose (parte interna de los trozos de carbón) en forma natural. Por espacio de 1 h.

* El gasto total de carbón antracita fue de 44 kg.(el carbón de cama fue aprox. de 11 kg., el calculo se realizó por la altura de cama el resto se perdió como cisco, se eliminó mucho carbón menudo prendido como cenizas, al tapar la puerta de encendido

* Gasto de carbón de madera 3 kg.

* El tiempo utilizado fue de 8.43 a.m a 12.46 p.m.

* Tamaño de chatarra de hierro entre 4-5 cm. de diámetro aprox.

3. Se efectuó la carga de calentamiento para la cama del siguiente modo

- 1 kg de caliza – 6.5 kg de Fe – 3 kg de C, se efectuó 4 cargas a intervalos de 10 min.(se observó que el Fe y escoria era fluido al picar el horno al tiempo fijado (7 min.), las paredes del horno totalmente caliente) EL HORNO ESTA ESTABILIZADO.

**Se apagó el ventilador, se limpio rápidamente todo el hierro que quedaba en piqueta y se prendió inmediatamente. Se incremento 2 kg de carbón adicional

4. - Abertura de válvula de ventilador $\frac{1}{4}$

- Altura de columna de agua 15.5 cm.

- Se efectuó la carga estándar fijada consistente en:

1 kg de caliza – 9 kg de hierro – 3 kg de Carbón, se efectuó 3 cargas a intervalos de 10 min y tiempo de picada 7 min. Sangrado 3 min.

Se observó:- Fluidez del hierro, escoria poco fluida, color verde botella (buen color)

-Pesos de los hierro 8.5 -6- 7 Kg.

**Se apagó el ventilador, se limpió rápidamente todo el hierro que quedaba en piqueta y se prendió inmediatamente. Se incrementó 2 kg de Carbón adicional

5. - Abertura de válvula de ventilador total

- Altura de columna de agua 17 cm.

- Se efectuó la carga estándar fijada consistente en:

1 kg de caliza – 9 kg de hierro – 3 kg de Carbón, se efectuó

3 cargas a intervalos de 10 min. Y tiempo de picada 7 min.

Sangrado 3 min.

Se observó: - Fluidez del hierro, escoria fluida, color verde

botella (buen color)

- Pesos de los hierro 8.3 – 8.5- 8.2 Kg.

- Llama reductora en puerta de carga mas

intensa

**Se apagó el ventilador, se limpió rápidamente todo el hierro que quedaba en piquera y se procedió al apagado de horno, abriendo la compuerta de descarga y rompiendo la solera.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Resultados de la práctica

A continuación se presenta la comparación de los valores experimentales obtenidos por medio del calculo propuesto en la tesis, primero para estabilizar el horno. Se entiende esta condición cuando el sistema esta a una temperatura constante, esto implica que por piquera sale el hierro fundido con gran fluidez, con un color propio para la temperatura de colada (mas de 1350 °C, color amarillo brillante) El primer hierro fundido en piquera se apareció a los 5 minutos de efectuado la carga.

Lo expuesto anteriormente, son apreciaciones practicas, y fue la única manera de seguir el trabajo debido a que la idea era refaccionar el horno de la UNI con las características calculadas y realizar ahí la practica. (se utilizaría el instrumental de laboratorio existente, ver documentación en anexos)

Seguidamente describiremos detalladamente cada paso.

TRABAJO DE ESTABILIZACION DEL HORNO.**A.- CONDICIONES ESTANDARES:**

Composición de la carga:

- Peso de hierro = 6.5 kg.
- Peso de carbón antracitoso = 3 kg.
- Peso de fundente, caliza = 1 kg.

B.- CONDICIONES DE TRABAJO:

1. Abertura de la válvula de ventilador es de $\frac{1}{4}$ de la sección
2. Altura de la columna de agua en tubo de Pitot 15.5 cm.
3. Se abrió la piqueta y se dejó fluir el hierro por 20 min, luego se tapó, y se picó 2 veces a intervalos de 7 min c/u, observándose fluidez en hierro y escoria, además todo el sistema estaba caliente, se tapó algunas fugas de aire.
4. Se cargó 4 veces a intervalos de 10 min c/u
5. Tiempo total de calentamiento 40 min.
6. Total de hierro fundido 26 kg.
7. Se observó ligera llama reductora en boca de carga.

PRIMERA PRUEBA:**A.- CONDICIONES ESTANDARES:**

1. Composición de la carga:
 - Peso de hierro = 9 kg.
 - Peso de carbón antracitoso = 3 kg.
 - Peso de fundente, caliza = 1 kg.
2. Calidad de chatarra de hierro, es de 1ra calidad, fundición común, fractura gris.
3. Tamaño promedio de chatarra de hierro, 5-7 cm.
4. Calidad de carbón antracita, procedencia Oyon.
5. Tamaño promedio de carbón, 5-8 cm, carbón para fundición en cubilotes.
6. Diámetro interno del horno altura de toberas 25 cm
7. Altura de cama, 50 cm.
8. Peso de carbón de cama 11 kg.
9. Tiempo de carga, cada 10 min.
10. Tiempo de picada, cada 10 min
11. Tiempo de sangrado, 3 min
12. Cantidad de cargas, 3
13. Cantidad de picadas, 3
14. Características de ventilador, Ø interior 36 cm, Ø succión 9.5 cm, Ø de salida 8 cm. Numero de alabes 10, ancho 3.5 cm.
15. Características del motor, Trifásico, 3600 rpm.

16. Características del tubo de Pitot, \varnothing 1 cm. Columna de agua con tinte.

B.- CONDICIONES VARIABLES DE LA PRUEBA.

1. Abertura de la válvula del ventilador, $\frac{1}{4}$ de sección.
2. Altura de columna de agua en tubo de Pitot, 15.5 cm.

C.- RESULTADOS:

1. Cantidad de hierro fundido. (1) 8.5 kg - (2) 6 kg - (3) 7kg.
2. Promedio de hierro fundido, 7.16 kg
3. Total de hierro fundido, 21.5 kg.
4. Vol. de aire inyectado (Q_v), calculado 14. 2059 m³/min,
5. Llama en la boca de carga, reductora, poco enérgica
6. Color de escoria, verde negruzca.
7. Superficie de pieza fundida, liza
8. Fluidez de metal, buena
9. Fluidez de la escoria, buena
10. Calidad de hierro fundido, Perlítico, (maquinable)

SEGUNDA PRUEBA:

A.- CONDICIONES ESTANDARES: Las mismas que la primera 1ra.

B.- CONDICIONES VARIABLES DE LA PRUEBA.

1. Abertura de la válvula del ventilador, totalmente abierta el \varnothing de sección (8 cm)
2. Altura de columna de agua en tubo de Pitot, 17 cm.

C.- RESULTADOS:

1. Cantidad de hierro fundido. (1) 8.3 kg - (2) 8.5 kg - (3) 8.2 kg.
2. Promedio de hierro fundido, 8.3 kg
3. Total de hierro fundido, 25 kg.
4. Vol. de aire inyectado (Qv), calculado 14. 877 m³/min.
5. Llama en la boca de carga, reductora, mas energética
6. Color de escoria, verde.
7. Superficie de pieza fundida, liza
8. Fluidez de metal, mejor que la anterior
9. Fluidez de la escoria, mejor que la anterior
10. Calidad de hierro fundido, Perlítico, (maquinable)

5.2. Resultados del cálculo termoquímico:

Previamente para presentar los resultados se detalla en forma sistemática los cálculos a realizar para obtener las cifras teóricas, partiendo primero del calculo de estructura que es la base, y de esta depende el calculo de carga para el horno y con estos resultados se procede hacer el calculo termoquímico, para terminar con la comparación de los resultados obtenidos e igualarlos al peso del volumen de aire inyectado al sistema, además nos da los valores en peso del volumen de gas saliente por la chimenea, que debe ser el mínimo , y ambientalmente se habrá mitigado las emisiones. De esta manera se cumple el objetivo de la tesis.

Tabla N° 23 Valores calculados para la práctica de fundición

(Cuadro de valores prácticos para cálculo termoquímico)

N°	Nombre	Símbolo	Val Teórico	Medida	Val Practico
1	Producción	P	377,00	kg/Hr	80,00
2	Cantidad de calor necesaria para fundir, un peso de fundición	Q	107.693,82	kcal	
3	Carga de Carbón	Pc	3,00	kg	3,00
4	Carga metálica	Pm	9,00	kg	9,00
5	Carga de fundente	Pf	1,00	kg	1,00
6	Sección	Si	4,90	dm ²	4,90
7	Diámetro interior	di	2,50	dm,	2,50
8	Altura de Carbón	hc	1,36	dm	
9	Cantidad de Fe-crisol (2 cargas)	Pfe-cri	14,40	kg	
10	Cantidad de Fe por picada (Pm-picada)	Pp	7,20	kg	7.1-8.3.
11	Altura del crisol	Hc	0,93	dm	2,50
12	Altura total de toberas	Htob	2,43	dm	
13	Altura del cubilote	H	14,99	dm	10,40
14	Cantidad de aire necesario a introducir al cubilote	Qv	5,10	m ³ /minuto	
15	Numero de toberas	N°tob	3,00		2
16	Volumen de carga de Fe	Vm	1,14	dm ³	
17	Altura de carga de Fe	hm	0,23	dm	
18	Altura total de carga	ht,	1,59	dm	
19	Altura. Carbón -cama arriba de toberas	hc-cama-t	2,72	dm	
20	Altura total de cama	HT-cama	5,15	dm	5,00
21	Volumen carbón de cama	Vc-cama	25,26	dm ³	
22	Peso de carbón en cama	Pc-cama	11,37	kg	11,00
23	Numero de cargas en el horno	N carga	6,17		3,00
24	Sección total de toberas	s1	1,63	dm ²	
25	Diámetro de toberas	Di-tob	0,83	dm	0,60
26	Diámetro de tubo de ventilador	s2	1,32	dm	0,80
27	Sección de cámara de aire	s3	3,62	dm ²	
28	altura de cámara de aire	a	2,63	dm	1,60
29	ancho de cámara de aire	b	1,32	dm	0,80

Tabla N° 24 Cálculo de carga para practica de fundición

di (dm)	2,50													
Pc (Kg)	3,00													
Pm (Kg)	9,00													
DATOS DE HORNO PARA (PERDIDAS)-GANANCIAS			30%		-15%		-18%		0%		40%			
			CARBON		SILICIO		MANGANESO		FOSFORO		AZUFRE			
COMPONENTES DE CARGA	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg		
ARRABIO	0,00	0,000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000		
CHATARRA FUND MECANIZ.	100,00	9,000	3,300	3,3000	1,600	1,6000	0,700	0,7000	0,300	0,3000	0,080	0,0800	capello/304-278	
RETORNO	0,00	0,000		0,0000		0,0000		0,0000		0,0000		0,0000		
Sub total		9,000				1,6000		0,7000						
Ferroaleaciones	0,00	0,000	0,000	0,0000		0,4125		-0,1100	0,000	0,0000	0,000	0,0000		
Incremento ferroalec.													FeSi 45 % , kg	FeMn 75%, kg
Composicion estimada en Fe cargado	100,00	9,0000	3,3	3,3000	2,0125	2,0125	0,5900	0,5900	0,3	0,3000	0,08	0,0800	0,083	-0,0132
Analisis estimado en pico de cubilote			4,2900		1,71063		0,4838		0,3000		0,1120			
C.estabiliza3.5%(capello/302)														
Valores Teoricos Tabla(apraiz/59)			3,250	3,250	1,750	1,750	0,500	0,500	0,250	0,250	0,100	0,100		

*(Negritas)valores dados en laboratorio

Tabla N° 25: Cálculo termoquímico para la práctica**CALOR SUMINISTRADO:**

Pre calentamiento del aire soplado	66,73Kcal
Cambios químicos	167.491,33Kcal
Totales	167.558,06 Kcal

CALOR GASTADO:

Contenido de calor del hierro	104.671,14Kcal
Contenido de calor en la escoria	10.749,36Kcal
Calor contenido en los gases de escape.	34.380,03Kcal
Pérdida por radiación (diferencia)	17.757,53Kcal
Totales	167.558,06Kcal

Calor potencial en el coque

254.144,44 Kcal

Eficiencia de fusión	41,17%
-----------------------------	--------

Eficiencia de combustión

Tabla 50 AFS $\text{CO} + 1/2\text{O}_2 = \text{CO}_2 +$ 67.636,00 Kcal

Tabla 49 AFS $\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} +$ 57.798,00 Kcal

Calor latente del CO 97.395,59 Kcal

Calor latente del H₂ 6.491,43 Kcal

Total **103.887,01Kcal**

Eficiencia de combustión	59,12%
---------------------------------	--------

Tabla N° 26: Valores finales de relación de ecuaciones (estadísticas) con termoquímica (eficiencia de fusión), y peso de aire para la práctica

Rel 10			CALOR:		
Ø =	0,25	m		Pot Coque	221.474,28 kcal
Vol _{aire} =	2,20	m ³ /min		Cont en Hierro	73.308,77 kcal
Temp ₁₀ =	1.508	°C		Cont en Gases	29.802,64 kcal
RegFus ₁₀ =	0,236	Tn/Hr	236	Cambio quimic.	144.097,46 kcal
EF	33,09	%			

Temp pico	1508,09	
peso aire	237,86	kg.
pesogasesescape	273,74	kg.

Diferencia de
pRegF-Paire
(p.gas)-(p.aire)
-1,74
35,87

Nota: Los valores y proceso de la practica lo podemos ver en el capitulo 5.1 resultados de la practica (pags.123 al 126)

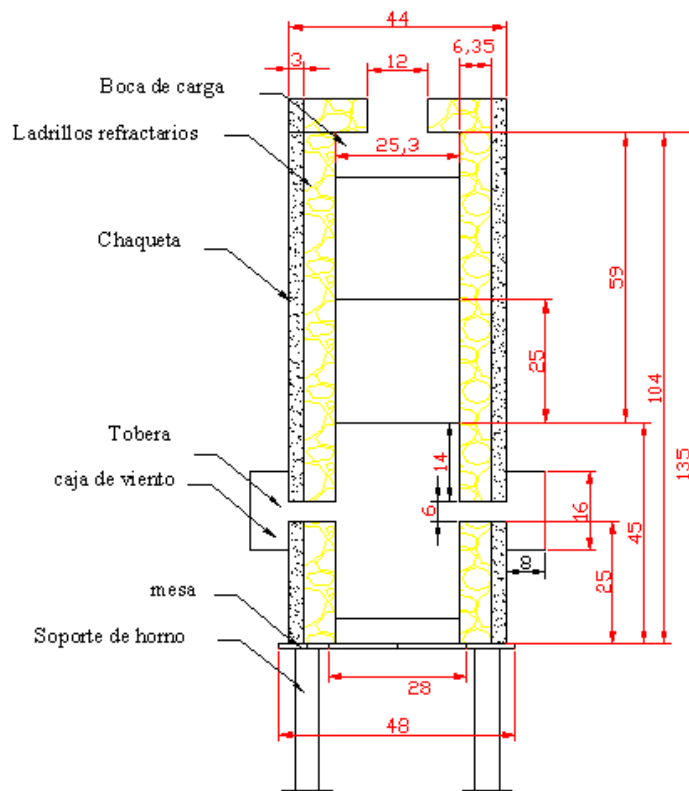
1. De acuerdo a la Tabla 23 ,referente a la estructura el cálculo teórico del Q_v es de $5.1 \text{ m}^3/\text{min.}$, con este valor se efectuó el cálculo termoquímico y nos dio un EF de 41.17% (Tabla 25) prácticamente es ideal este valor para un hierro fundido en piqueta (P_p) de 7.2 kg que promediado con nuestros resultados prácticos están dentro del rango, pero el problema resulta que la proporción Fe/C, es diferente y es por eso que pretender aproximarnos a esto prácticamente es un error. Pero si se puede demostrar la diferencia de Producción respecto al volumen de aire inyectado en el sistema. De acuerdo a formula de Q_v esta en relación directa a la Producción (P)
2. De acuerdo al cálculo teórico según Tabla 26, cuadro de los valores termoquímicos y el ajuste de la producción respecto a la cantidad del peso del aire y el peso de los gases nos da un RegFusi de 236 kg , un Vol_{aire} de $2.2 \text{ m}^3/\text{min}$ una Temp. de 1508°C con un EF de 33.09% , con estas cantidades se igualaría al peso del aire introducido en el sistema, estas proporciones son diferentes a los valores de la práctica, (Tabla 25) EF es 41.17% resultando estos valores referenciales.
3. El cálculo hecho del volumen de aire tomando como base la presión estática, nos da unas cantidades bastante altas para los valores de la práctica ($Q_v = 14.2 - 14.8 \text{ m}^3/\text{min}$) de acuerdo a ecuación 25.

5.3. Comparación de los valores teóricos con los valores prácticos

A. DIMENSIONES ESTRUCTURALES:

El horno cubilote utilizado en la practica fue construida con dimensiones aproximadas al horno calculado teóricamente, cuyas medidas son mostradas en la figura 6 y comparadas a continuación

Figura N° 6 : Partes y dimensiones del horno cubilote en la práctica.



Fotografía Nº 1 : Horno cubilote utilizado en la práctica.



Tabla N°27 : Comparación de valores teoricos con valores prácticos.

N°	Nombre	Simbolo	Valor Teori	Medida	Val Pract
1	Produccion	P	377.00	kg/Hr	54.00
2	Cantidad de calor necesaria para fundir	Q	107,693.82	kcal	
3	Carga de Carbon	Pc	2.86	kg	3.00
4	Carga metalica	Pm	28.57	kg	9.00
5	Carga de fundente	Pf	0.93	kg	1.00
6	Seccion	Si	4.90	dm2	4.90
7	Diametro interior	di	2.50	dm,	2.50
8	Altura de Carbon	hc	1.30	dm	
9	Cantidad de Fe-crisol (2 cargas)	Pfe-cri	45.72	kg	
10	Cantidad de Fe por picada (Pm-picada)	Pp	22.86	kg	7.1-8.3.
11	Altura del crisol	Hc	2.96	dm	2.50
12	Altura total de toberas	Htob	4.46	dm	
13	Altura del cubilote	H	14.99	dm	10.40
14	Cantidad de aire necesario a introducir al cubilote	Qv	5.10	m3/minuto	
15	Numero de toberas	N°tob	3.00		2
16	Volumen de carga de Fe	Vm	3.63	dm3	
17	Altura de carga de Fe	hm	0.74	dm	
18	Altura total de carga	ht,	2.04	dm	
19	Altura. Carbon -cama arriba de toberas	hc-cama-t	2.72	dm	
20	Altura total de cama	HT-cama	7.18	dm	5.00
21	Volumen carbon de cama	Vc-cama	35.21	dm3	
22	Peso de carbon en cama	Pc-cama	15.85	kg	11.00
23	Numero de cargas en el horno	N carga	3.83		3.00
24	Seccion total de toberas	s1	0.49	dm2	
25	Diametro de toberas	Di-tob	0.83	dm	0.60
26	Diametro de tubo de ventilador	s2	1.32	dm	0.80
27	Seccion de camara de aire	s3	3.62	dm2	
28	altura de camara de aire	a	2.63	dm	1.60
29	ancho de camara de aire	b	1.32	dm	0.80

+ 26kg calen ****de acuerdo al di su P es 377 y nosotros fundimos 80 kg**

VALORES OBTENIDOS EN LA PRACTICA.

h agua mm	por Pres Est			tiempo.	Cant	Rel
	Qv m3/min	Pp kg	Pc kg	Pm kg	picado	
155	14.206	7.16	3	9	7	3/./1
170	14.877	8.3	3	9	7	3/./1

Nota: Nuestra referencia es la tabla 27:

1. El diámetro del horno a nivel toberas (d_i): es el mismo (25 cm.) es uno de los parámetros principales que intervienen en la producción porque de esta depende la altura total del horno, producción horaria
2. Diámetro de toberas (D_{i-tob}): El diámetro varia respecto al valor teórico ($V_T=0.83$ $V_P=0.6$ dm) pero dentro de las recomendaciones para hornos pequeños indica la relación de 1/4. a 1/8 respecto de la sección del horno ($S_i= 4.9$; $D_{i-tob}= 0.61$), entonces está dentro de los márgenes teóricos
3. Número de toberas ($N^{o}tob$): el valor teórico es de 3, pero el práctico es 2. de acuerdo a Howard recomienda que las toberas siempre deben ser en número pares, para que el soplo sea equilibrado
4. Diámetro de tubo de ventilador (s_2): el valor teórico es 1.3 y el práctico es 0.8, está colocado respecto de la caja de viento en forma tangencial y la tubería es recta. Para no obstruir el paso del aire.

5. Altura de crisol (H_c) casi coinciden en valor, pero como es un horno de poca producción generalmente el volumen que ocupa el hierro es del 50%, y la altura de la carga de hierro aprox. es la mitad., además el escoriado es frontal (por piqueta)
6. Altura de toberas (H_{tob}): es la misma altura de crisol (2.9 dm.) porque en el horno de la práctica (2.5 dm.) no tiene escoriador, ya que la escoria es eliminada por piqueta después de sangrado el hierro.
7. Altura de cubilote (H): es menor aprox. en un tercio respecto al teórico pero las dimensiones cumplen con la altura para depositar 3 cargas aprox.

B. VALORES DE PRODUCCION

1. Producción (P): la teórica es de 377 kg/h pero nosotros fundimos solo 80 kg/h porque nuestra relación Fe/C es mucho menor, y los fines fueron demostrar el incremento de producción respecto al aumento de volumen de aire.
2. Carga de Carbón (P_c): es aprox. los mismos

3. Carga Metálica (P_m): varia, porque esta en relación a la proporción Fe/C
4. Carga de Fundente (P_f): es aprox. los mismos
5. Cantidad de hierro por picada (P_p): varía porque tenemos otras proporciones Fe/C
6. Altura total de cama (H_T -cama): es aproximada, ya que no tiene escoriador.

C. VALORES CALCULADOS

1. Altura de columna de agua (Tubo de Pitot): Se tuvo bastante cuidado para la toma de estos valores, porque se tiene que demostrar el incremento del volumen de aire emitido por el ventilador, y ésta es una forma de medirla. Mediante el desplazamiento de las columnas del tubo en U con agua coloreada, inicialmente al mismo nivel antes de prender el ventilador, las medidas fueron tomadas por medio de un papel milimetrado obteniendo las siguientes cifras de presión estática:
 - a.- Abertura de 1/4 de sección del ducto..... 15.5 cm.
 - b.- Abertura total de sección del ducto..... 17.0 cm.

2. Caudal de aire (Q_v) a partir de la presión estática.: los valores se tomaron, de las alturas encontradas en tubo de Pitot

Fotografía N° 2 Se observa el sistema de tubo de Pitot conectado al horno.



5.4. Cálculo del caudal de aire a partir de la presión estática en tubo de Pitot.

** De acuerdo al NTP 615. Certificado ISO 9001 abril 2003 España

([www. Siafa.com.ar/notas/nota118/presion.htm](http://www.Siafa.com.ar/notas/nota118/presion.htm)).

$$Q = 4.04 * S * ((P_{ec} / 1 + F_c)^{1/2}) \quad (45)$$

Q = Caudal m³/seg.

S = Sección de conducto en m² , Ø de ducto = 0.08 m ; S= 0.005026

Pec = Presión estática en mm cda. (columna de agua) = 155mm; 170mm.

Fc = Factor de pérdida (graf. 20° = 0.14)

d = densidad del aire 1.2 kg/m³

$$Q = 0.23676 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q = 14.2059 \text{ m}^3/\text{min. (para 155)}$$

$$Q = 14.8774 \text{ m}^3/\text{min. (para 170)}$$

Nota: debo resaltar que para el cálculo se utilizó las mediadas obtenidas mediante el tubo de Pitot, pero la toma en el ducto de ésta se hizo a nivel de la pared del ducto, esto quiere decir que son presiones estáticas; Lo común es hacer una toma en el ducto con dos ramales para que la lectura directa sea de presiones dinámicas (toma en el centro y a nivel de pared)

5.5. Pruebas metalográficas

1. PRUEBA DE CUÑA: Para el diagnóstico utilizamos el examen físico, con una prueba mecánica estática de resistencia a la cortadura y dureza del material se observa la calidad de grano a simple vista y su estructura. En la práctica se tomo la fractura del material de un espesor de 1 cm., y podemos decir que tiene las características de una fundición perlítica, con una dureza entre 180 a 250 Brinell una resistencia de 20 a 30 kg/mm², en términos corrientes es un hierro maquinable, como podemos ver en la fotografía

Fotografía N° 3 Vista del grano a la fractura del material fundido



Fotografía N° 4 Taladrando el Material obtenido con broca de ¼"Ø



y después de haber realizado nuestro calculo de carga con estos valores nos da como resultado una composición cercana a los valores mencionados, el cual nos proporciona las características indicadas anteriormente, solo tendremos que anotar que en el caso del carbono, éste excede la cantidad pero sabemos que estos fundidos tienen un limite de estabilidad o grado de captación del carbono, como se indica.

Nota. La prueba de cuña se utiliza una probeta triangular con dimensiones definidas para poder observar las diferentes composiciones que toma el material.

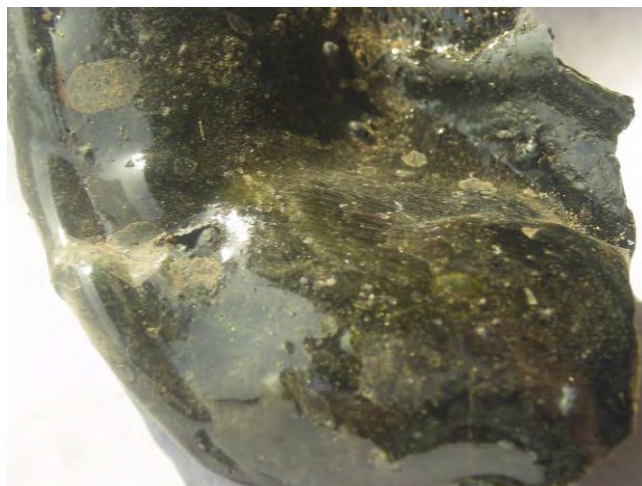
2. PRUEBA DE LA GOTA: Esta prueba esta referida al tiempo que se toma el hierro una vez cargado llega a fundirse entre 5 a 8 minutos que debe aparecer en la piquera y esto en forma proporcional se puede observar a nivel de toberas, tomando tiempos aproximados, si tenemos tiempos mayores nos indica cama alta y menores cama baja, por consiguiente se puede corregir inmediatamente antes de tener problemas con el funcionamiento; en nuestro caso de acuerdo a lo tomado en la practica según el cuadro de registro de cubilote es de 5 minutos esta dentro del rango.

Fotografía N° 5 Vista de la tobera observando las gotas de hierro fundido



3. ESCORIA COLOR Y FLUIDEZ: en general se trata de una escoria bastante fluida, compacta de fractura vítrea color verde botella con poca oxidación, el horno tubo buena marcha, se podida observar una ligera variación de color cuando se aumento el volumen de aire tendiendo a aclarar el color
- 4.

Fotografía N° 6: Se observa el color de la escoria



5. FLUIDEZ DEL METAL EN PICO. Fue excelente aunque se fundió pocas piezas, la prueba se realizó dejando caer el material de piqueta al suelo, luego lo separábamos para enfriar y pesar de acuerdo a las variaciones de volumen de aire inyectado.

Fotografía N° 7: Se observa la fluidez de la escoria y el hierro fundido en una cama de arena



5.6. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en el trabajo práctico mostraron varios puntos de discusión por ello mencionaré en detalle cada uno de ellos:

1. A mayor Vol_{aire} mayor Temp. en el sistema por consiguiente mayor RegFusi, dentro de los límites normales fijados, esto es manteniendo el resto de parámetros iguales en toda la prueba como son relación Fe/C, diámetro interno del horno, proporciones de carga iguales (Fe, C, Caliza), tiempos. Este punto se demostró en la práctica, aunque con valores aproximados al cálculo teórico. Y además se exageró el rango de medidas en la abertura de la válvula de control del volumen de aire. Básicamente se tomó el mínimo y el máximo para hacer más representativo el resultado.
2. Para obtener el valor ideal del volumen de aire a inyectar en el sistema (Vol_{aire}) se iguala al peso del hierro fundido (RegFusi) y ésta cantidad me representa el valor ideal a utilizar en el sistema. Este punto no se pudo demostrar por no contar con un ventilador más grande apropiado, y el instrumento de medida (tubo de Pitot) no se construyó para la toma de la presión dinámica de aire en el ducto.

El tubo de Pitot utilizado tomó la presión estática y para el cálculo nos basamos en una norma de la ISO 9001 que utiliza este tipo de parámetro, pero el error es grande de acuerdo a los estándares para la prueba.

Se debe tener en cuenta que, de acuerdo a la tesis, las bases para sacar las relaciones termoquímicas y combinarlas con las estadísticas (Tabla 26) están tomadas de valores estandarizados por el trabajo de Jungbluth. Dentro de ellos he tomado para la tesis la relación Fe/C de 10/1 y en la práctica esta relación es de 3/1.

3. Los cálculos realizados para el Q_v se tomo los valores de la presión estática, lo normal es tomar los valores de presión dinámica, además no son confiables, porque la proporción Fe/C es diferentes a los parámetros estandarizados para la realización de la práctica.
4. La base para tomar las muestra según la bibliografía reportan que el material energético utilizado es el coque, mientras para la práctica se ha utilizado el carbón antracítico, cuyo carbono fijo está entre 70-80 % y las cenizas entre 5-10 % comparado con el coque cuyo carbono fijo es más alto y las cenizas mínimas.
5. Un aumento de la abertura de la válvula de aire de **75%** ($1 - 1/4 = 0.75$) nos reporta un incremento en la altura de la columna de

agua de **8.82%** ($17-15.5=1.5$) y esto incrementa el volumen de aire Q_v (hallado mediante la diferencia de alturas de la columna de agua) **4.514%** ($14.8774 - 14.2059 = 0.6715$), aumentando el RegFusi **13.73%** ($8.3-7.16=1.14$), para una proporción Fe/C de 3/1.

6. Desde el punto de vista ambiental, la deducción sería un aumento en la abertura de la válvula de aire de un 75%, nos incrementa el Régimen de Fusión del 13.73 %, quedando demostrado uno de los puntos de la tesis que dice al aumento de volumen de aire, aumenta el régimen de fusión, dentro de ciertos parámetros controlados.
7. También de acuerdo al cálculo teórico (tabla 23) para una $P=377$ kg/Hr necesitamos $Q_v=5.1$ m³/min, con una (tabla 25) EF= 41.17%, si nosotros trabajamos con sentido ambiental de acuerdo a los cálculos de la tesis tendríamos (tabla 26) una $P= 236$ kg/Hr con un $Q_v = 2.20$ m³/min , a una temperatura en piquera de 1508°C, una EF= 33.09%, con una emisión de gases de peso 273.74 kg., y un peso del aire inyectado al sistema de 237 kg. La conclusión sería: ****Habría un aumento en la producción de un 37% ****
**** Un aumento en la EF = 20%, PERO UN INCREMENTO DE Q_v = 57%, A LA VEZ UN INCREMENTO DE LAS EMISIONES DE GASES DE UN 46% EN PESO.,es una deducción teórica de acuerdo a los cálculos de la tesis.**

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1. Recomendaciones:

- 1) La utilización del recurso aire en forma racional en las fundiciones con hornos cubilotes permitirá que las emisiones gaseosas de la chimenea sean controladas y así cumplan con las normas de medio ambiente o por lo menos sean mitigadas, y hacer que esta industria sea sustentable.
- 2) La reacción entre los recursos aire-carbón (reacción oxígeno carbono) debe ser lo más perfectamente posible, dosificando el aire (peso del aire) que debe ser igual a la producción (RegFusi), por consiguiente al hacer más perfecta la reacción las emisiones gaseosas se minimizarían.
- 3) Referente a la presión del aire, es difícil poder maniobrar ya que depende de varios factores como es el tamaño del carbón, dimensiones de toberas, características de los materiales de

carga, etc. por consiguiente este parámetro lo regulamos utilizando el menor tiempo para la experiencia.

- 4) Ambientalmente el horno cubilote es un emisor de gases al medio ambiente, de ahí que el control de estos mediante la optimización de la reacción de combustión es primordial.
- 5) Es recomendable para este tipo de horno un ventilador centrífugo para el manejo del aire porque se puede graduar fácilmente por medio de una llave compuerta colocada en el ducto de aire.
- 6) Para tomar valores más exactos mediante el sistema de tubo de Pitot se debe construir con 2 tomas, uno para la presión estática (cerca de pared del ducto) y la otra en el punto medio del ducto y en ángulo recto, y conectadas estas dos en ambos extremos de la U del tubo nos darán una diferencia que es el valor de la presión dinámica, y con este valor empleamos la ecuación de Bernoulli con la respectiva modificación y obtendríamos los valores (Q_v) más cercanos a la teoría.
- 7) Se recomienda hacer un estudio para pequeños hornos cubilote con los materiales existentes en nuestro país para tener base de estudio técnico, como el rendimiento calórico de la antracita nacional, refractarios nacionales, estandarización de medidas para este tipo de cubilote, (hacer un modelo

integral que abarque construcción, carga, termoquímica y medio ambiente)

- 8) La base de datos tomados según refiere la bibliografía utilizó como elemento energético el coque (alto contenido de carbono fijo) mientras para la práctica se trabajó con carbón antracitoso procedente de Oyón (según referencia comercial y el carbono fijo es de un porcentaje inferior). Se recomienda que futuras investigaciones se trabaje con el carbón antracitoso, por ser más económico y accesible a nuestra realidad.

6.2. Proposición de trabajos futuros

Es de esperar que para otros temas de tesis se fije el estudio de del tratamiento integral de las emisiones del horno cubilote al medio ambiente, también dar un mayor valor agregado al producto y de esta manera ahorrar la energía efectiva emitida por el carbón respecto a la pieza acabada. También se propone la estandarización referente a medidas constructivas para estos hornos.

También propongo que el tema de mi tesis sea probado prácticamente, ya que mi deseo era eso, pero por motivos que escapan a mi alcance no lo pude realizar.

CONCLUSIONES

1. Queda demostrado en la práctica, que un aumento en el volumen de aire (V_{aire}) (Q_v , hallado por diferencia de h de columna de agua) 4.5% incrementa el régimen de fusión (RegFusi) 13.73%, por incremento de la temperatura (Temp.) manteniendo estables los otros parámetros como son diámetro interno del horno a nivel de toberas, cargas, tiempos, etc., para una relación de Fe/C de 3/1.
2. El ajuste referente al régimen de fusión con el peso del aire no se pudo realizar en la práctica porque la relación Fe/C es de 3/1 por consiguiente el trabajo propuesto queda con sustento teórico.
3. Para aproximar las propiedades del estudio realizado por los hornos industriales (diámetro interior mayores de 50 cm.) se utilizó el método de los mínimos cuadrados dándonos una curva que al hacer la regresión lineal nos permite extrapolar valores para los pequeños hornos cubilote

(diámetro interior menores a 30cm) y utilizarlos para proyectos con este tipo de horno.

4. Una combustión perfecta entre el carbón antracitoso y el aire ($C+O_2=CO_2$) genera una disminución de gases contaminantes al medio ambiente. Esto se controla hallando la cantidad ideal de aire a introducir al sistema.
5. El conocimiento de los cálculos técnicos y el proceso total de fundición en el cubilote permite tener información más precisa para disminuir los impactos ambientales que pueda generar el sistema total.
6. La preocupación medio ambiental también tiene que ver con el uso eficiente del horno referente a la calidad y cantidad de material colado, disminuyendo los rechazos de piezas acabadas en fundición, que esto a la postre podría crear impactos ambientales negativos para nuestro ecosistema. Esto es causado muchas veces porque no utilizamos la cantidad óptima de aire para el sistema.
7. La relación de las ecuaciones obtenidas en la tesis (en base a las propiedades de la recta) se ajustan para los valores tomados como base (Cartas propuestas por Jungbluth). Esto quiere decir para el caso de la tesis, el valor base es la relación Fe/C de 10/1, pero se extiende a valores de 8/1, 12/1.
8. Los valores obtenidos teóricamente no se ajustan a la práctica porque ésta se realizó con un tipo de horno aproximado, por tanto es necesario

construir el horno recomendado en la tesis, además de utilizar los materiales de carga convenientes para el buen sustento de las proposiciones expuestas.

9. La propuesta demostrada a cabalidad (aumento de producción al aumentar el volumen de aire), está sujeta al principio de optimizar la reacción de combustión, reflejada en el aumento de EF.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY. El horno de cubilote y su operación. Trad. Ing. Francisco Andión. 6ta. Edición. Editorial Co. Continental. S.A. México. Pp. 136, 180, 802, 808.
- 2.- ALBERTO LANDAURO Y LOBATO FLORES. Hornos Metalúrgicos Industriales. Librería San Marcos Lima. Perú.
- 3.- ALLISON BUTTS, Problemas Metalúrgicos, Resueltos por Edwin Urdy I Edición Lima, Perú, 1982.
- 4.- ARTHUR S. GOSS. JR., Oil Barrel Cupola, Washington D.C. USA 1960.

- 5.- EDOARDO CAPELLO, Tecnología de la Fundición Edit. Pili S.A. Barcelona 1974. p. 217
- 6.- ESCUELA INTERNACIONAL DE ENSEÑANZA. Talleres, Fundición Buenos Aires I Edición.
- 7.- H. LE BRETON-F OUVREARD, Manual para el Fundidor Editorial Palestra Barcelona , España 1958. p.163
- 8.- HOWARD. E.D .Tratado práctico de fundición. Trad. F. Muñoz Del Corral. 2da. Ed. Edit. Aguilar. Madrid 1962.
- 9.- HUTTE, Manual del Ingeniero Editorial Gustavo Gili S.A. , Barcelona,1966.
- 10.-J.G. PEACEY- W.G.DAVENPORT. Alto Horno de Hierro, Editorial Limusa México 1986
- 11.-JOHN PERRY, Manual del Ingeniero Químico, UNMSM Centro Federado de Química 1977
- 12.-JOSE APRAIZ BARREIRO, Fabricación del Hierro , Acero y fundiciones Tomo II, Editorial Urmo, España, 1978. p.262

- 13.-KENNETH WARK-CECIL F. WARNER, Contaminación del aire ,
Editorial V Edición Limusa, México, 1998 p. 22
- 14.-LARRY W. CANTER, Manual de Evaluación de Impacto Ambiental,
España 1997.
- 15.-MURRAY R. SPIEGEL, Ph. D. Estadística, 1era Edición. Editorial
MacGraw-Hill. México 1970
- 16.-N.D. TITOV. Tecnología del Proceso de Fundición Edit. MIR Moscú
1981. III Capitulo. p. 266
- 17.-NEVERS. NOEL Ingeniería de control de la contaminación del aire.
Trad. José Pérez Castellanos. Edit. Mc. Graw-Hill. México. Octubre
1997.
- 18.-OFFICE OF INDUSTRIAL RESOURCES .Oil Barrel Cupola .
Washington 25 D.C
- 19.-OLIVIER BADER- MICHEL THERET, Diccionario Enciclopédico de
Metalurgia ,Editores Técnico Asociados S.A. España 1969. p.279
- 20.-REINHARDT SCHUHMANN JR. Ingeniería Metalúrgica, Editorial
Continental S.A. Argentina 1968. p.102

21.-TYLER MILLER JR. Ecología y Medio Ambiente, Editorial Iberoamerica México 1994

22.-W. TRINKS – M.H. MAWHINNEY , Hornos Industriales, Editorial Urmo España 1975

23.- Metalspain, Tartera.

<http://www.metalspain.com/Art.tartera.pdf>

24.- Contaminacion - Fundicion

<http://www.monografias.com/trabajos29/contaminacion-fundicion/contaminacion-fundicion.shtml>

25.- ISO – 1400

<http://www.monografias.com/trabajos4/iso14000/iso14000.shtml>

26.- Wolframalpha

<http://www.wolframalpha.com/examples/PlottingAndGraphics.html>

27.- Ricardo Aristizabal Sierra – Simulación del Proceso y Diagrama de Red.

Versión impresa

Re. Fac. Ing. Univ. Antioquia N° 37. Julio 2006. pp. 176-187

Simulación del proceso de fusión y obtención de los diagramas de red para el horno de cubilote de la Universidad de Antioquia.

Ricardo Aristizabal Sierra.

Grupo de Investigaciones Piró metalúrgicas y de Materiales – GIPIMME-
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Materiales
Universidad de Antioquia, Medellín Colombia.

28.-Ricardo Aristizabal Sierra – Héctor Mejía – Claudia Silvia, - A Pinedo

Modelo Matemático para los fenómenos de combustión

Versión impresa ISSN 0121-6230

Rev.fac.univ.Antioquia n.36 Medellín abr/jun 2006

Re. Fac. Ing. Univ. Antioquia N° 36. Marzo 2006. pp. 70-84

Modelo matemático para los fenómenos de combustión en un horno de cubilote.

Ricardo Aristizabal Sierra- Hector Daniel Mejia, Claudia Silvia, Diego Alfonso Pineda, Marcelo Rojas.

29.- Suarez Lisca Lazaro, Garcia Caballero R. Alonso Alexis –

Contaminación en la Industria de la fundición.

<http://www.monografias.com/trabajos29/contaminacion->

[fundicion/contaminacion-fundicion.shtml](http://www.monografias.com/trabajos29/contaminacion-fundicion/contaminacion-fundicion.shtml)

30.- Pérez Espitia Paula Andrea – Evaluación experimental de los perfiles de composición química del metal en un horno de cubilote y comparación con algunos modelos matemáticos; Trabajo de Investigación; Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales, Grupo GIPIMME, Medellín 2007, Colombia. p. 70

31.- Reglamento sobre Protección del Medio ambiente. del DS – 016 – 93 – EM (28 de abril – 93) para la actividad Minero Metalúrgica

ANEXOS

- Términos y abreviaciones utilizadas
- Definición de términos utilizados.
- Proposición inicial de práctica en la UNI
- Gráficos de relación volumen con régimen de fusión.
- Gráficos de relación régimen de fusión con temperatura.
- Planos del horno a construir
- Fotografías

• TÉRMINOS Y ABREVIACIONES UTILIZADAS

A.F.S	American Foundry Society
E.C	Eficiencia de combustión
E.F	Eficiencia de fusión
Fe/C	Proporción de hierro carbono en la carga
FeMn	Ferro manganeso (aleante)
FeSi	Ferro silicio (aleante)
Kgmol	Kilogramo-mol
Kmol	Kilogramo-mol
L.M.P.	Limites máximos permisibles
min	Minuto
Ø	Diámetro
P	Producción
P.a	Peso atómico
Pc	Peso de carbono en carga
Pm	Peso de hierro en carga
Pp	Peso de hierro en piqueta
Qv	Caudal de aire
RegFusi	Régimen de fusión del horno
Temp	Temperatura en el horno
Voltaire	Volumen de aire inyectado al horno
µm	Micra, o micrón.

- **DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS.**

% DE COEFICIENTE DE FUSION: Esta referida a la cantidad de calor potencial total de entrada que es recuperado en la forma de hierro caliente.

COMBUSTION: Fijación del oxígeno por diversos cuerpos con desprendimiento de luz y calor, con o sin llama.- Es una reacción química en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de calor y luz.

CONTAMINACION AMBIENTAL: Acción resultante de la actividad antropogénica (por el hombre), introduciendo contaminantes directa o indirectamente en el ambiente, superándolas concentraciones y los patrones ambientales establecido; o debido al tiempo de permanencia, hacen al cuerpo receptor adquirir características diferentes a las originales, perjudiciales o nocivas a la naturaleza o a la salud.

CONTAMINACION: Un cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, agua, suelo o alimentos y que pueden influir de manera diversa en la salud, sobre vivencia o actividades de seres humanos u otros organismos vivos, Se llama también infección.

COQUE: Es el residuo sólido, celular, que se obtiene cuando se calientan ciertos carbones bituminosos, fuera de contacto con el aire, arriba de las temperaturas a las que ocurre la descomposición térmica activa.

DESARROLLO SOSTENIBLE: es la necesidad de encontrar un nuevo modelo de progreso humano con dos objetivos: crecimiento económico mejorando el nivel de vida, y uso eficiente de recursos para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer el patrimonio de futuras generaciones

DIAGRAMA DE RED DEL CUBILOTE: Conocidos también como diagramas de Jungbluth, relacionan en forma de cartas las variables de operación que pueden controlarse es decir el caudal del aire del soplo a condiciones normales y el porcentaje de carbono en el coque con respecto al metal en la carga, con las variables repuesta producción y temperatura del metal. Son una herramienta muy

valiosa que permite a los fundidores controlar su operación de acuerdo con las necesidades de producción.

ECOLOGIA: Es el estudio de las interacciones de los seres vivos entre si y con su ambiente inanimado o no vivo de materia y energía. -El estudio de la estructura y funciones de la naturaleza

ECOSISTEMA: Comunidad de diferentes especies que interactúan entre si y con los factores físicos y químicos que conforman su entorno no vivo.

EMISION: Es la descarga proveniente de una fuente de contaminantes, producida en la actividad de los seres vivos.

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES (L.M.P): Es el nivel de concentración o cantidad de uno o mas contaminantes, por debajo del cual no se preveé riesgo para la salud, el bienestar humano y los ecosistemas, fijado por la Autoridad Ambiental Competente y legalmente exigible.

MINIMOS CUADRADOS: Es una técnica de análisis numérico encuadrada dentro de la optimización matemática en la que, dados un conjunto de pares, se intenta encontrar la función que mejor se aproxima a los datos (un mejor ajuste), de acuerdo con el criterio de mínimo error cuadrático.

MITIGACION: Medida tomada para reducir o minimizar los impactos ambientales y socioeconómicos.

MONITOREO: Es un instrumento para mantener un diagnostico actualizado de una situación ambiental específico, Es este sentido, es sumamente importante asegurar la obtención de muestras representativa, seleccionando adecuadamente las estaciones de muestreo, el tipo de muestra y la frecuencia de recolección.

PIQUERA: Parte del horno cubilote por donde sale el metal liquido

PRODUCCION AMBIENTALMENTE LIMPIA: se refiere a la aplicación continua de una estrategia integrada de prevención ambiental a los procesos y a los productos con el fin de reducir los riesgos a los seres humanos y al medio ambiente. En los proceso, la producción limpia incluye la conservación de las materias primas y la

energía, la eliminación de las materias primas tóxicas y la reducción de la cantidad y la toxicidad de todas las emanaciones y desperdicio antes de ser eliminados de un proceso

REACCION ENDOTERMICA: es cualquier reacción química que absorbe energía; (la energía de los productos es mayor a la de los reactivos. Ej. La disociación del carbonato de calcio en dióxido de carbono y óxido de calcio.

REACCION EXOTERMICA: Se denomina a cualquier reacción química que desprende energía, generalmente se da en las reacciones de oxidación como son las reacciones exotérmicas de la combustión.

RECTAS DE REGRESION: son las rectas que mejor se ajustan a la nube de puntos (diagrama de dispersión) generada por una distribución binomial.

SIMULACION: Es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con el, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias, dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos para el funcionamiento del sistema.

TERMOQUIMICO: Se trata de los cambios térmicos que acompañan a las reacciones químicas y a los cambios físicos conexos a estas, (Hess es su fundador). Es la parte de la química que trata la relación entre el calor con las reacciones químicas, pero generalmente la termoquímica es la aplicación de la termodinámica a la química.

VARIABLE INDEPENDIENTE: En investigación, es aquella que es manipulada por el investigador en un experimento con el objeto de estudiar como incide sobre la expresión de la variable dependiente, A la variable independiente también se la conoce como variable explicativa, y mientras que la variable dependiente de se conoce como variable explicada. Esto significa que las variaciones en la variable independiente repercutirán en variaciones en la variable dependiente.

PROPOSICION INICIAL PARA LA PRACTICA EN LA UNI

- VALORES DEL HORNO UNI
- COSTOS DE CONSTRUCCION DEL HORNO PROPUESTO.
- PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE CARGA, RESPECTO A PZA DESEADA
- CALCULOS DE PRODUCCION

**Tabla N° 29.- DIMENSIONES COMPARATIVAS DEL HORNO PROYECTADO EN LA TESIS
CON EL HORNO EXISTENTE EN LA UNI.**

N°	Nombre	Simbolo	Val.Proy.Hor	Medida	Val.Horno UNI
1	Produccion	P	475.00	kg/Hr	1,000.00
2	Cantidad de	Q	135,688.50	kcal	285,660.00
3	Carga de C	Pc	4.39	kg	9.25
4	Carga meta	Pm	43.94	kg	92.51
5	Carga de fu	Pf	1.43	kg	3.01
6	Seccion	Si	6.18	dm2	13.00
7	Diametro in	di	2.80	dm,	4.07
8	Altura de C	hc	1.58	dm	1.58
9	Cantidad de	Pfe-cri	70.31	kg	148.02
10	Cantidad de	Pp	35.15	kg	74.01
11	Altura del c	Hc	3.62	dm	3.62
12	Altura total	Htob	5.12	dm	5.12
13	Altura del c	H	16.82	dm	24.41
14	Cantidad de	Qv	7.85	m3/minuto	16.52
15	Numero de	N°tob	3.00		3.00
16	Volumen de	Vm	5.58	dm3	11.76
17	Altura de ca	hm	0.90	dm	0.90
18	Áltura total	ht,	2.49	dm	2.49
19	Altura. Car	hc-cama-t	3.05	dm	4.43
20	Altura total	HT-cama	8.17	dm	9.55
21	Volumen ca	Vc-cama	50.46	dm3	124.14
22	Peso de ca	Pc-cama	22.71	kg	55.86
23	Numero de	N carga	3.48		5.98
24	Seccion tot	s1	0.62	dm2	1.30
25	Diametro d	Di-tob	0.93	dm	1.36
26	Diametro d	s2	1.48	dm	2.14
27	Seccion de	s3	4.06	dm2	5.90
28	altura de ca	a	2.96	dm	4.29
29	ancho de c	b	1.48	dm	2.14

Medidas encontradas en horno UNI

	cm.
diametro exterior	53
diametro interno	40
altura de puerta	150
altura de tobera	30
altura de escoriador	24
numero de toberas	2
diametro de toberas	7
diametro de tubo de aire	10

**Tabla N°30: PRESUPUESTO DE LA ESTRUCTURA DE FIERRO
PARA LA CONSTRUCCION DEL HORNO EN LA UNI**

N°	CANT	DESCRIPCION	IMPORTE	
			Soles	Dolares
1	1	Plancha negra de 74x74x2 cm. (mesa del horno)	159.90	
2	1	Tubo negro de 220 x 8 dia. X 1.0cm (para las 4 patas de 50 cm. largo.)	120.00	
3	1	Plancha negra de 65 x 16x2. cm. (4 planchas anclaje 16x16x2 cm.)	30.37	
4	1	Plancha negra rolada de 236x 54 dia. x 0.3 cm (chaqueta del horno)	220.28	
5	1	Plancha negra circular de dia. 60 x 0.3 cm, espesor. h=30 cm (sombrero mata chispas)	107.23	
6	2	Planchas negras tipo corona de dia. ext. 81x27cm anchox 0.3 (pared inf. y sup. de caja de viento)	107.64	
7	1	Plancha negra cilíndrica de 85 dia. h= 28 ;espesor =0.3 cm. (pared ext, de caja de viento)	160.24	
8	1	Tubo negro de 150 x 12 cm de dia. X 0.3 espesor. (tubo a ventilador)	50.00	
9	3	Plancha negra de 30x20x0.5 cm. (para piquera, tapa tobera, seguro de puerta, etc)	52.56	
10	2	Planchas tipo corona de, dia ext= 20 x dia int= 12 x espesor 0.5. (brida de conexión a Ventilador)	11.74	
11	1	Plancha circular de dia. 12 x esp 0.5.cm (Válvula de aire)	1.29	
12	4	Barras circulares para soporte de matachispas de. 25 largo x dia. 1.3 cm	50.00	
13	4	kg. de electrodos de soldadura cellocord	50.00	
14	2	Botellas de 24 lbs, de gas propano	70.00	
15	3	m3 de oxigeno	80.00	
16		Material adicional.	200.00	
		TOTAL	1,471.24	

Tabla N° 31 OTROS GASTOS DE FABRICACION

N°	CANT.	DESCRIPCION	IMPORTE	
			Soles	Dolares
1	2	Discos de desbaste Norton	30.00	
2	2	Hojas de corte de metal	12.00	
3	20	Pernos tuercas de 2 x ½ pulg. (para anclaje y brida)	50.00	
4	1	Varilla de construcción de ½ . 300 cm.	50.00	
5	1./2	Bolsa de cemento	10.00	
6	1	Carretilla de arena	5.00	
7	1./4	gal. De pintura anticorrosiva		
8		Alquileres:		
		a)-Maq. Soldadura eléctrica	100.00	
		b)-Maq. Corte acetileno	50.00	
		c)-Taladro mecánico	10.00	
		d)-Esmeril de mano	10.00	
		e)-Servicio de torno	100.00	
9		Mano de Obra		
		15 días de trabajo de : 1 maestro soldador	500.00	
		1 ayudante	200.00	
10		Transporte	200.00	
		TOTAL	1,327.00	

Tabla N° 32: PRESUPUESTO PARA REVESTIMIENTO DEL HORNO

N°	CANT.	DESCRIPCION	IMPORTE	
			Soles	Dolares
1	230	Ladrillos silicosos REPSA , arco 3 (11 s/. c/u)	2,530.00	
2	5	Bolsas de tierra refractaria (70 s/. c/u)	708.00	
3	4	Días de trabajo de :		
		1 albañil	200.00	
		1 ayudante	80.00	
		TOTAL	3,518.00	

CALCULOS GENERALES DE ACUERDO AL HORNO PROYECTADO Y PIEZAS A OBTENER

CALCULO DE CARGA PARA EL CUBILOTE DISEÑADO

** Fundiremos 20 Volantes de compresora para 3 canales con peso unitario de 18 kg de material Hierro fundido maquinable.

PREVIO

Pesos a considerar :

a.- Por Pieza

Peso pieza 18 kg

Peso mazarota (15%) 2.7 kg

Aires, rebaba, ad. colad(5%) 0.9 kg

TOTAL DE PESO PZA **21.6** kg

b.- Peso por Fundicion:

Numero de Pzas 20

Margen de seguridad de Fund (20%) 24 pzas

Peso de cada pieza 21.6 kg

Total a fundir en piezas **518.4** kg

Peso total a fundir **600** kg

DETERMINANDO LA FORMA COMO SE VA TRABAJAR

1.- Características de horno a fundir:

1.a.- Tomaremos los datos de Tabla **Dimensiones para la Construccion del H. cubilote:**

di 28 cm

Pc 4.39 kg.

Pm 43.94 kg.

P 475 kg. / hr.

Pm-picada **35** kg. / hr.

1.b.- Porcentajes de pérdidas y ganancias

Carbono estabiliza en 30 %

Silicio pierde 15 %

Manganeso pierde 18 %

Fósforo

no sufre modificaciones

Azufre gana 40 %

(depende de calidad de Carbon.)

2.- CARACTERISTICAS DE LA PIEZA A FUNDIR

- 2a.- El pedido es un Hierro fundido Maquinable; metalúrgicamente hablando se refiere a las características de una fundición Perlitica; y de acuerdo a la figura 26 de libro fundiciones de Jose Apraiz (pag,36) determinamos:

Resistencia a la tracción(22 kg/mm ²
Dureza Brinell	220
Tipo de grano	cerrado Perlita, Grafito.(A)

- 2b.- Como necesitamos una fundición perlitica en el Pico del horno, su composición química será: De acuerdo a Tabla VII de Fundiciones de Jose Apraiz (pag,59,167) Piezas de Maquina grosor medio.

C %	Si %	Mn %	P %	S %
3.25	1.75	0.5	0.25	0.1

Hallamos el C equivalente para esta composición

$$CE = 3.92$$

De acuerdo a este número es una fundición hipoeutectica, tiene poco grafito y la otra parte es eutectica; material especial para construcciones de maquinarias

- 2c.- Calculando el contenido de Carbono (C.) en la carga del cubilote

De acuerdo a Fig 369 de Tecnicas de Fundicion de Capello (pag,299)

Carbono resultante	3.25
Carbono en carga	3.1 hallado en diagrama

Luego escogeremos para la carga chatarra y retorno con un % de C no menos de 3%

- 2d.- Definiendo calidad de chatarra a cargar:

De acuerdo a Tabla 38 de Tecnicas de Fundicion de Capello (pag,278)

Tomamos la chatarra de fundición mecánica 1ra calidad cuya composición es

C %	Si %	Mn %	P %	S %
3.3-3.5	1.5-2	0.7-0.9	0.2-0.4	0.08-0.1 en libro
3.3	1.6	0.7	0.3	0.08 en la practica

Nota: Nuestro Retorno en fundición de acuerdo a análisis tiene la siguiente composición

C %	Si %	Mn %	P %	S %
2.80	1.70	0.40	0.35	0.08

- 3.- De acuerdo a 2d hacemos nuestro cuadro de **CALCULO DE CARGA PARA CUBILOTE**

el cual nos da como resultado de material obtenido en el pico de cubilote lo siguiente:

C %	Si %	Mn %	P %	S %
3.500	1.710	0.483	0.305	0.109
CE	4.2	Es un hipoeutectico		
T	22.2	kg/mm ²		

** **RESULTADOS COMPARADOS CON LOS DE 2a y 2b SON APROXIMADOS.**

CALCULOS DE CARGA REFERIDOS AL PESO DEL CARBON (Pc=4.39 kg)

Las características de la carga de carbon deben ser las sgtes:

1 Carbón fijo	89	% min
2 Materiales	1.5	% max.
3 Cenizas	10	% max.
4 Azufre	0.8	% max.
5 Humedad	4.0-5.0	% max.

Granulometria ideal del carbon en la carga debe ser 1/12 avo del diametro interno del horno.

CALCULOS DE CARGA REFERIDO AL FUNDENTE (Pf.= 1.43 kg.)

Como fundente se utilizara la piedra caliza, esta es una roca natural que contine Carbonato de Calcio (CaCO₃), y el oxido de calcio (CaO) es su constituyente activo

El analisis quimico debe ser aproximadamente:

Si	2 % menos.
CaCO ₃	95 %

Granulometria mas o menos de 1 pulgada.

PRUEBAS INMEDIATAS DE FUNDICION

- ** Basicamente se desarrollara la prueba de temple mediante la probeta triangular, para ver las distintas estructuras de acuerdo a la velocidad de enfriamiento de la pieza.

También hay otras pruebas a desarrollar como:

Prueba de colabilidad o de Cury.

Prueba de sensibilidad a espesor

Prueba de la tendencia al rechupe.

NOTA ADICIONAL:

ANALISIS DEL CABON PROCEDENTE DE OYON (Antracita y Semi antracita)

Informacion obtenida de FIGMMG - UNMSM Vol-10, № 20, 76-81 (2007)

Carbón fijo	70-80	%
Material volátil	6-14.	%
Cenizas	5-10.	%
Azufre	1-2.5	%
Humedad	6	%
Poder calorifico	6500-7500	kcal/kg

Figura N° 7 :Partes y dimensiones del horno cubilote a construir en la UNI

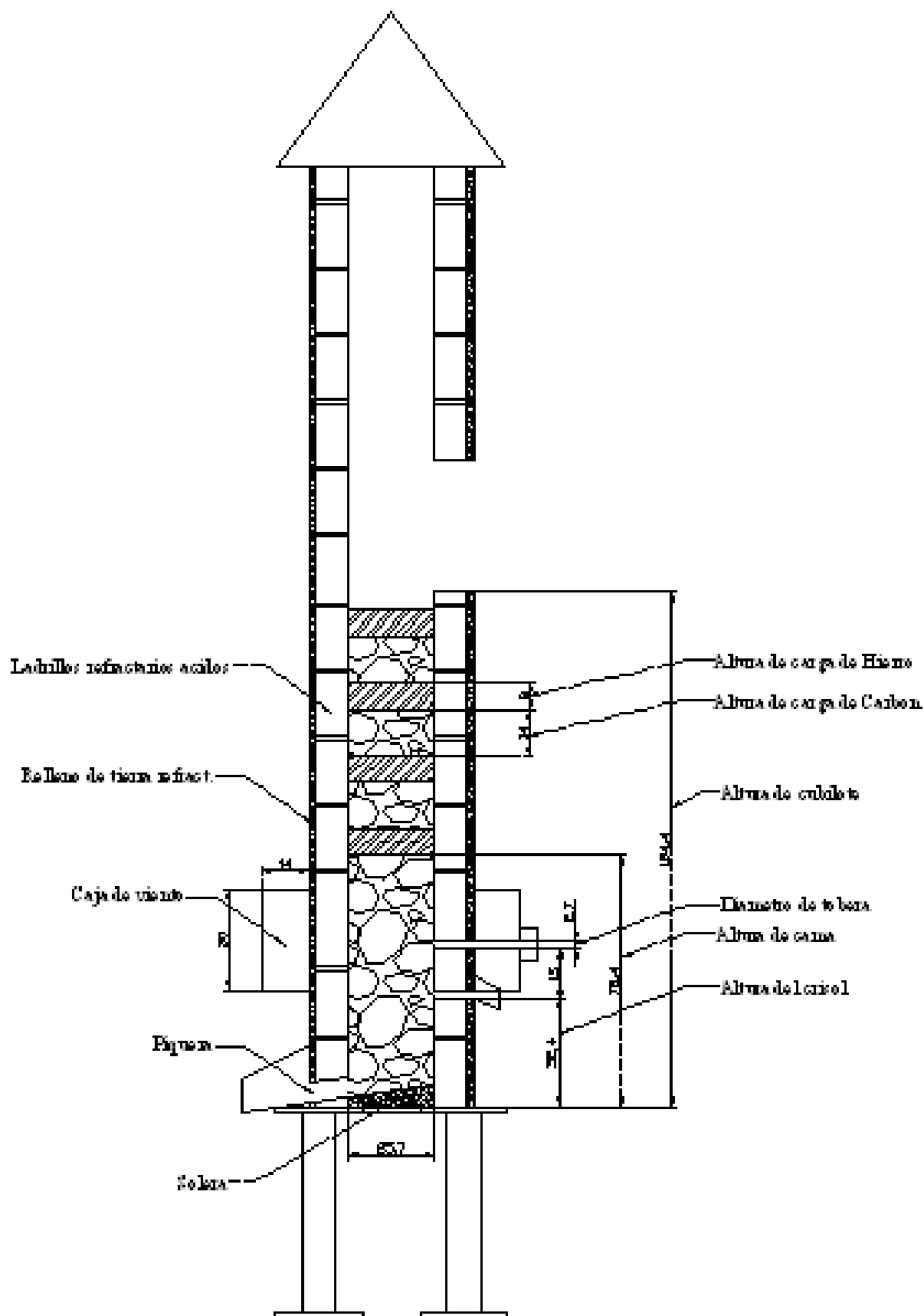


Tabla N° 33: CALCULO DE COSTOS DE PRODUCCION

Total de peso a fundir	600 kg
------------------------	--------

N°	Materiales de Carga	Cant. (kg)	Precio Unit	Total (soles)
1	Chat. Fund. Mec 70%	420	1.2	504.00
2	Retorno 27%	162	0.8	129.60
3	Ferroalecciones: 3%	18		
	FeSi 45 %	0.423		60.00
	FeMn 75%	0.005		30.00
A	TOTAL DE CARGA METALICA	600		
B	TOTAL DE CARGA DE CARBON (Rel 1/10)	60	0.72	43.20
	(cama,carga,extras)	31	0.72	21.98
C	TOTAL FUNDENTE(caliza)	19.5		15.00
D	Carbon de madera para encendido	5		20.00
E	TOTAL TRANSPORTE Y OTROS			150.00
	TOTAL GENERAL			973.78

10 cargas por hora (capello/214)

falsa carga c/5-6 (capello/212)

Produccion hora (kg/Hr) CALCULADO	400	11 cargas/hora	cada carga en 5.1/2 mi	TRABAJO DE HORNO TOTAL 1.1/2 horas
		13.5 picadas/hora	cada picada en 5 minu	

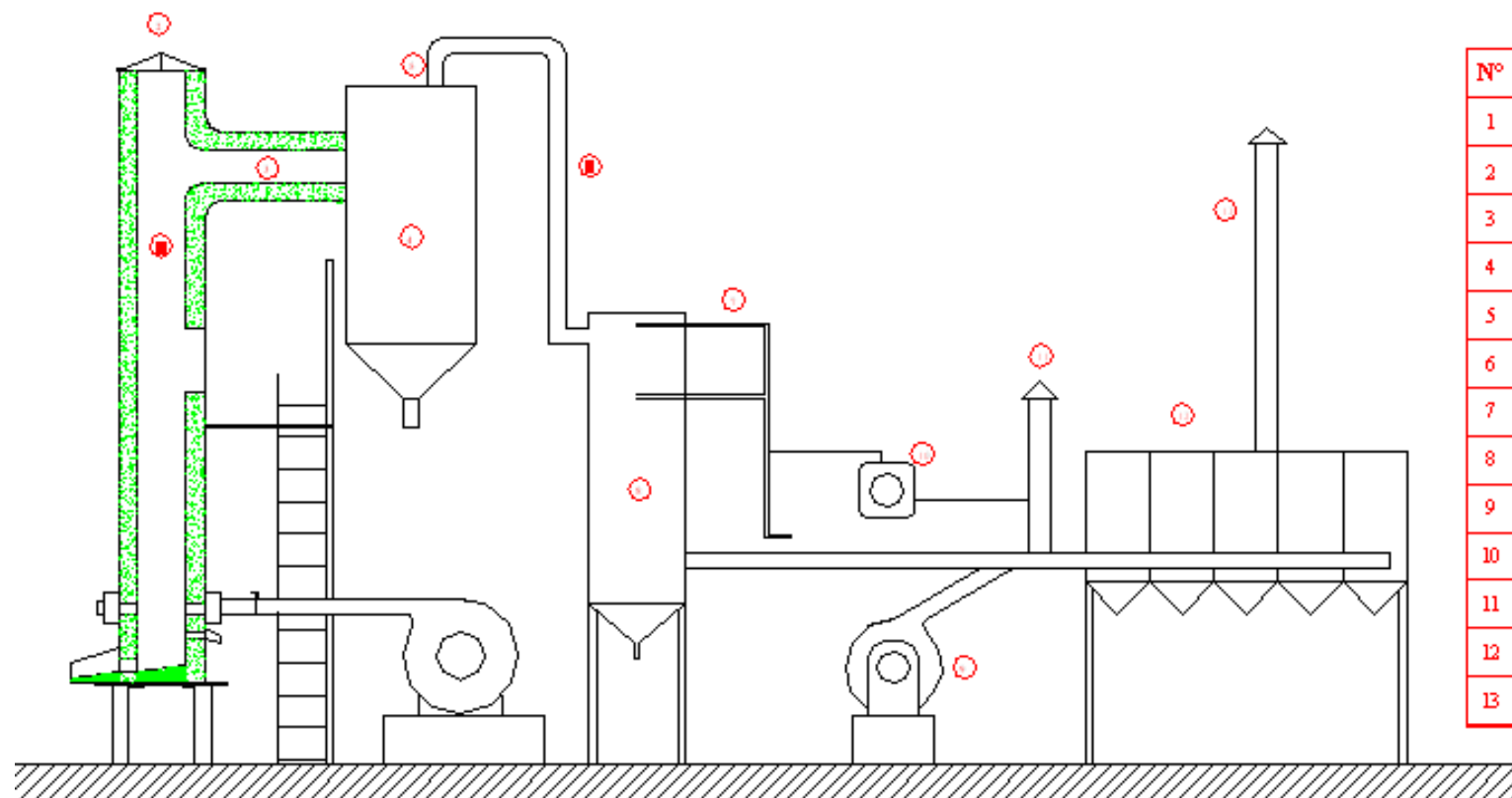
N°	Descripcion	Cantidad		
1	Total de peso de carga metálica	600	16 cargas	en 2 horas de trabajo de horno (carga cada 7.5 minutos de peso 37 kg c/u)
2	Total de peso de metal sangrado: Merma		20 picadas	trabajo horno 2 horas (picada cada 6 minutos de 30 kg c/u)
3	Merma en porcentaje de carga metálica	(capello/218)		
4	Costo de metal sangrado: (sin incluir gastos de fusión)			
5	Piezas producidas (desbarbadas)			
6	Merma en porcentaje de piezas producidas			
7	Costo de kg. por pieza producida			
8	Rendimiento			

Tabla N° 34: INFORME DE CARGA.

Fecha	
Tipo hierro	Fundicion perlitica hipoeutectica

N°	Carga	Peso por Carga(Kg)	Cantidad	Total (kg)
1	Hierro			
a	Chat.fund.mec	31	14	422.7
b	Retorno	12	14	163.6
c	Ferroaleaciones:	1		
	FeSi	0.45	14	6.1
	FeMn	0.005	14	0.1
	Total de carga de metal	44	14	600
2	Carbón:			
	Cama	23	1	23
	Carga	4.4	14	60
	Extras	4.0	3	11
	Total de carga de Carbon			94
	<i>Relacion Fe/C</i>		10/1.	
3	Fúndente	1.4	14	19

Figura N° 8 : Sistema completo de control de las emisiones del horno cubilote



N°	REFERENCIA
1	Chimenea del cubilote.
2	Tapa de chimenea (contrapesado y func. mecánico)
3	Tubo de conexión a enfriador (gases calientes)
4	Ciclón por gravedad
5	Tubo de salida del ciclón
6	Ducto de comunicación (252°C)
7	Chisguete de agua
8	Enfriador secundario (135° C)
9	Extractor.
10	Sistema de control de temperatura entre enfriador, chimenea de emergencia y filtros
11	Chimenea de emergencia.
12	Equipo de filtros bolsa.
13	Chimenea Principal.