

T
669.1423
C532



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica



D-11043

"CONSTRUCCION DE HORNO
DE SALES PARA TRATAMIENTOS
TERMOQUIMICOS DEL ACERO"

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de
INGENIERO EN MECANICA

Presentado por:

LIN JOSE CHIANG LUEY

Guayaquil

Ecuador

·
Año

1992

AGRADECIMIENTO

AL ING. IGNACIO WIESNER P.
Director de Tesis, por su
valiosa ayuda y colaboración
para la realización del
presente trabajo.

AL ING. JOSE PACHECO M. por
sus enseñanzas y orientación
durante la investigación y
elaboración de este trabajo.

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen

A mis padres

A mi tía Cecilia

A mi Abuela

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, le corresponden exclusivamente al autor y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)


T IN JOSÉ CHIANG LUEY

RESUMEN

Dentro de los métodos utilizados, para operaciones de tratamientos térmicos, se tiene los procesos termoquímicos, los cuales pueden ser realizados mediante el uso de atmósferas o sales fundidas (líquidas).

En el presente trabajo se diseñará y construirá un horno de sales para tratamientos termoquímicos del acero, se harán pruebas para justificar su diseño, y se valorará su eficiencia para un tratamiento termoquímico en particular.

Se hará una descripción del proceso a seguir en el tratamiento termoquímico elegido (cementación líquida), y una reseña de otras maneras de realizar la cementación líquida.

Las aplicaciones, características y tecnología de este tipo de horno serán tomadas en cuenta para la realización del diseño y posteriormente para su justificación para otras aplicaciones.

Mediante cálculos y experiencias, se justificarán los materiales usados en la construcción del prototipo y, el diseño de todo el equipo de calentamiento y chimenea.

Por último se evaluará la eficiencia térmica del horno y su respuesta ante el desarrollo de un proceso termoquímico.

JUSTIFICACION DEL PROYECTO

Nuestra condición de países en franco desarrollo, ha permitido que seamos totalmente dependientes de la tecnología importada desde Japón, U.S.A. y parte de Europa, lo que trae consigo la imposición de condiciones por parte de países desarrollados, que van desde la disminuida valoración de nuestra materia prima (en las operaciones de trueque) hasta la venta de equipos y herramientas que ya pasaron de moda o están en desuso en aquellos países. La búsqueda constante del desarrollo y de mejores condiciones para nuestro país, nos obliga a cambiar la mentalidad y aptitud mental para impulsar la investigación en todos los ámbitos de la educación, especialmente en la etapa universitaria, pues el estudiante serio y responsable al llegar a este nivel está capacitado para hallar soluciones técnicas a los problemas que frenan el desenvolvimiento del país. Planteada de esta manera la situación, pretendemos a través de este trabajo, dotar a la pequeña industria, industria y artesanía un equipo que forma parte de un centro piloto de asesoramiento, tecnificación y certificación que brindará la oportunidad de mejorar la producción y la productividad, para de esta forma alcanzar el anhelado desarrollo.



ING. NELSON DEVALLOS B.
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



ING. IGNACIO WIESNER F.
DIRECTOR DE TESIS



ING. JULIAN PERA E.
MIEMBRO PRINCIPAL



ING. JOSE PACHECO M.
MIEMBRO PRINCIPAL

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	v
JUSTIFICACION DEL PROYECTO	vii
INDICE GENERAL	ix
INDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE TABLAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiv
CAPITULO I	
FUNDAMENTOS TEORICOS	17
1.1 DESCRIPCION DEL PROCESO	17
1.2 HISTORIA DE HURNOS	24
1.3 CARACTERISTICAS	30
1.4 APLICACIONES	35
1.5 ASPECTOS TECNOLOGICOS DE LOS HORNOS DE SALES.	42
CAPITULO II	
MEMORIAS DE CALCULO Y CONSTRUCCION	46
2.1 DISEÑO DEL EQUIPO	46
2.2 DISEÑO DE PARED	55
2.3 CALCULO DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO	61
2.4 CALCULO DE CHIMENEA	76
2.5 CALCULO DE OPERACION	86
2.6 MEMORIA DE CONSTRUCCION	92

2.7 PRUEBAS	76
CAPITULO III	
DISCUSION DE RESULTADOS	79
3.1 ENSAYO DE CEMENTACION LIQUIDA	87
3.2 EVALUACION DE RESULTADOS	105
APENDICE	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
BIBLIOGRAFIA	175

INDICE DE FIGURAS

Fig.		Pág.
1	Crisol	51
2	Quemador	65
3	Chimenea	85
4	Tapa	95
5	Horno	128
6	Efecto de la temperatura en la profundidad de capa efectiva a 50 HRC en un acero AISI 1022 cementado con 10% CNNa	113
7	Efecto de la temperatura en la profundidad de capa efectiva a 50 HRC en un acero AISI 1022 cementado con 12% CNNa	114
8	Efecto de la temperatura en la profundidad de capa efectiva a 50 HRC en un acero AISI 1022 cementado con 14% CNNa	115
9	Efecto del tiempo en el gradiente de dureza en un acero AISI 1022 cementado en un baño con 10% de CNNa a 875 °C	116
10	Efecto del tiempo en el gradiente de dureza en un acero AISI 1022 cementado en un baño con 10% de CNNa a 900 °C	117
11	Efecto del tiempo en el gradiente de dureza en un acero AISI 1022 cementado en un baño con 10% de CNNa a 925 °C	118

12	Efecto del tiempo en el gradiente de dureza en un acero AISI 1022 cementado en un baño con 12% de CNNa a 875 °C	119
13	Efecto del tiempo en el gradiente de dureza en un acero AISI 1022 cementado en un baño con 12% de CNNa a 900 °C	120
14	Efecto del tiempo en el gradiente de dureza en un acero AISI 1022 cementado en un baño con 12% de CNNa a 925 °C	121
15	Efecto del tiempo en el gradiente de dureza en un acero AISI 1022 cementado en un baño con 14% de CNNa a 875 °C	122
16	Efecto del tiempo en el gradiente de dureza en un acero AISI 1022 cementado en un baño con 14% de CNNa a 900 °C	123
17	Efecto del tiempo en el gradiente de dureza en un acero AISI 1022 cementado en un baño con 14% de CNNa a 925 °C	124
18	Aumento de temperatura en la pared exterior del concreto aislante	125
19	Gradiente del aumento de la temperatura en la pared interior del horno	126
20	Pérdida de temperatura en la pared del horno	127

INDICE DE TABLAS

TABLA #		Pág.
1	Análisis químico del concreto aislante	109
2	Conductividad térmica del concreto aislante ...	109
3	Propiedades físicas del concreto aislante	110
4	Temperatura de llama de algunos gases	110
5	Propiedades de la termocupla "K"	111

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Área
a.c.	Antes de cristo
A _{c1}	Temperatura de calentamiento crítica inferior
A _{c3}	Temperatura de calentamiento crítica superior
AISI	American Iron and Steel Institute
BaCl ₂	Cloruro de bario
CSi	Carburo de silicio
CaCO ₃	Carbonato de calcio
°C	Grados centígrados
cm	Centímetro(s)
CNNa	Cianuro de sodio
CO	Dióxido de carbono
d	Diámetro
d.c.	Después de cristo
e	Dimensión; espesor
Fe	Hierro
°F	Grados Fahrenheit
ft	Pie(s)
a	Aceleración de la gravedad
H	Altura
h	Hora(s)
k ₁	Conductividad térmica del concreto aislante
k ₂	Conductividad térmica de la piedra pómez
k	Coefficiente de transmisión del calor
kcal	Kilocalorias

kg	Kilogramo
kW	kilovatio(s)
L	Dimensión; distancia de un lado
lbf	Libra fuerza
lbm	Libra masa
M	Masa
m	Flujo másico
m	Metro(s)
m ²	Metro(s) cuadrado(s)
m ³	Metro(s) cúbico(s)
min	Minutos
mm	Milímetro(s)
NaCl	Cloruro de sodio
NaCN	Cianuro de sodio
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sodio
NH ₄ Cl	Cloruro de amoniaco
P	Presión
pul	Pulgada(s)
Q	Cantidad de calor
q	Caudal
R	Constante universal de los gases
°R	Grados Rankine
r	Relación de superficies
s	Segundo(s)
S	Temperatura de capa gaseosa
T	Temperatura

v	Velocidad
V	Volumen
W	Watt o vatio
σ	Peso específico
ρ	Densidad

CAPITULO I

FUNDAMENTOS TEORICOS

En este capítulo se hará una descripción del proceso, así como las ventajas y desventajas de los tratamientos termoquímicos en general y al proceso de cementación en particular, además la facilidad o dificultad de realizar este proceso con respecto a los otros métodos. Se hará una reseña histórica de los hornos, así como una clasificación de los mismos. Las características y aplicaciones de estos tipos de hornos serán valoradas en comparación a otros tipos de hornos fabricados para estos procesos. Por último los aspectos tecnológicos se detallarán en forma concreta, y se justificará su utilización.

1.1 DESCRIPCION DEL PROCESO

GENERALIDADES

La teoría del tratamiento térmico del acero se basa en la teoría general de las transformaciones de fase que se desarrollan en las aleaciones en estado sólido. Cuando se conoce cómo transcurren las transformaciones de fase y estructurales durante el

calentamiento y el enfriamiento del acero con diferente velocidad, se puede dirigir los procesos del tratamiento térmico y obtener acero con la estructura y las propiedades finales requeridas.

El tratamiento termoquímico combina las acciones térmica y química con el fin de cambiar la composición química, estructura y cualidades de la capa superficial de un metal o una aleación. El tratamiento termoquímico se realiza como resultado de la saturación por difusión de un metal o una aleación por difusión de un metal o una aleación con no metales o metales en un medio activo saturante a una temperatura determinada, es decir, en la penetración en el acero de los átomos de diferentes elementos. Esta operación puede tener lugar solamente en el caso de que el elemento que difunde forma con el metal principal una solución sólida o un compuesto químico.

Durante el tratamiento termoquímico se desarrollan los siguientes procesos: descomposición de las moléculas en el medio exterior y la formación de átomos del elemento que difunde (disociación); captación de átomos por la superficie del acero (absorción); penetración de los átomos al interior

del acero (difusión).

El tratamiento termoquímico, comparado con el temple superficial, por ejemplo, con el que se realiza con corriente de alta frecuencia, tiene ciertas peculiaridades y ventajas:

1.- No depende de la forma exterior de las piezas. Pueden tratarse con igual eficacia piezas de forma simple y compleja, obteniéndose en toda la superficie una capa endurecida del mismo espesor. En cambio, en el temple superficial tiene mucha importancia la forma exterior de las piezas, por lo que muchas de las que se emplean en las máquinas, debido a su forma complicada, no pueden someterse a dicho temple.

2.- La diferencia entre las propiedades del núcleo y de la superficie es mayor en este caso que la que se consigue con el temple superficial. Cuando se emplea el tratamiento termoquímico, la diversidad de propiedades está determinada por la diferencia de estructura y de composición, y cuando se utiliza el temple superficial, únicamente por la diferencia de estructura.

3.- Las consecuencias del sobrecalentamiento de la superficie pueden subsanarse en el tratamiento térmico siguiente, mientras que en el caso del

temple superficial es imposible eliminar dichas consecuencias, puesto que el temple es la última operación.

Para elevar la durabilidad de las piezas de máquinas de mayor responsabilidad se usan ampliamente la cementación (carburación), nitrocementación y nitruración. La mayoría de los elementos de máquinas funcionan en condiciones de desgaste, cavitación, cargas cíclicas y corrosión, a temperaturas altas y criogénicas, con las cuales las tensiones máximas surgen en las capas superficiales del metal, donde se acumulan los concentradores principales de esfuerzos. El tratamiento termoquímico, al elevar la dureza, la resistencia al desgaste, a la formación de rayaduras, a la cavitación y la corrosión y creando en la superficie favorables esfuerzos de compresión residuales, aumenta la fiabilidad y durabilidad de las máquinas.

CIANURACION DEL ACERO

Por cianuración, se entiende el tratamiento termoquímico que consiste en la saturación difusiva de la capa superficial del acero simultáneamente

con carbono y nitrógeno desde 820 hasta 950 °C en la masa fundida que contiene cianuros. La cianuración se aplica para elevar la dureza superficial, la resistencia al desgaste, el límite de fatiga a la flexión y la resistencia de contacto.

CIANURACION A TEMPERATURA MEDIA

En este proceso la pieza se calienta hasta 820 a 860 °C en sales fundidas que contienen NaCN. Para obtener una capa de pequeño espesor 0.15 a 0.35 mm. La duración del proceso se determina por el espesor requerido de la capa y es de 30 a 90 min. Con el tiempo la cantidad de NaCN que hay en el baño disminuye y la de Na_2CO_3 aumenta. El baño se renueva cada 2 horas de trabajo introduciendo el 3% de aleación de cianuración respecto a la masa de sal que hay en el crisol. La concentración de cianuro en el baño constituye un 1.5 a 0.5%.

La cianuración a las temperaturas indicadas, relativamente bajas, permite ejecutar el temple directamente después del baño de cianuro. Después del temple se realiza el revenido a baja temperatura 180 hasta 200 °C. La dureza alcanzada

es de \approx HRC 58 a 62.

CIANURACION A ALTA TEMPERATURA

Para obtener una capa de mayor espesor 0.5 a 2.0 mm se emplea la cianuración profunda o a alta temperatura, de 930 a 950 °C, en un baño que contiene el 8% de NaCN, el 82% de BaCl₂ y el 10% de NaCl. El tiempo de exposición de las piezas en el baño, es de 1.5 a 6.0 horas. Para obtener resultados estables de cianuración es necesario mantener en el baño no sólo la cantidad requerida de NaCN, sino también de BaCl₂. Por eso para renovar el baño se añaden alternativamente BaCl₂ y cianuro sódico en alto porcentaje. El consumo de NaCN es de \approx 0.1% por hora con respecto a la masa de las sales en el baño, y el consumo de BaCl₂, es de \approx 0.4% por hora.

Para disminuir la deformación las piezas a tratar se calientan hasta un rango de \approx 450 a 500 °C antes de ser introducidas en el baño. Para afinar el grano de austenita se realiza el temple después del recalentamiento en el baño salino o en el horno, efectuándose el revenido desde 180 a 200 °C. La dureza superficial es de 58 a 62 HRC.

CEMENTACION EN SALES FUNDIDAS

La superficie se carbura en sales fundidas constituidas por carbonatos alcalinos Me_2CO_3 y carburo de silicio SiC. Por ejemplo, se ha encontrado cierta aplicación al baño formado por un 75% a 85% de Na_2CO_3 , un 10% a 15% de NaCl y un 6 a 10% de SiC. Para elevar la fluidez del baño y disminuir la cantidad de escoria, fue propuesto introducir K₂CO₃ en lugar de Na₂CO₃. En vez de SiC a veces se utiliza CaC₂ o ferromanganeso rico en carbono (8-9% de C).

Los procesos duran de 0.5 a 3.0 horas a 850°C; el espesor de la capa es de 0.2 a 0.5 mm. La duración del proceso es de 0.5 a 3.0 horas y permite obtener una capa cementada de 0.2 a 0.5 mm de espesor. Una disminución en el baño de SiC inferior al 6% provoca el cese de la cementación e incluso, posiblemente, la descarburación del acero. Para renovar el baño, cada 3 horas se le añade SiC, en cantidad del 0.5% respecto a la masa total de las sales, mezclado con sosa. Para saturar el acero con carbono y nitrógeno a la vez y para acelerar el proceso, al baño se agrega 8 a 9% de NH_4Cl .

1.2 HISTORIA DE HORNOS

GENERALIDADES

Los modelos, formas, tamaños, características, etc. de los hornos han cambiado de acuerdo a sus necesidades y usos. Los hornos han venido evolucionando con el tiempo, por eso resulta casi imposible determinar el verdadero origen o evolución de los hornos, para tratamientos térmicos, se remonta desde la antigüedad, aquellos que funcionaban con leña y que eran una cubierta de barro, o aquellos que utilizaron nuestros indígenas para fundir sus piezas de oro, y después, en la edad media cuando hizo su aparición el hierro fundido como principal elemento para la fabricación de las armas. Por esos motivos es mejor hacer una clasificación de los hornos, de los usos, materiales que se utilizaron para su construcción y de las temperaturas alcanzadas por los mismos y con esto tener una idea de como evolucionaron los hornos, y con ellos su respectiva historia.

RESEÑA HISTORICA

La historia de la metalurgia está íntimamente

liquidada a la evolución del horno, esta empieza en la edad del bronce (3900 a.c.), donde ya se fundían pequeñas piezas de bronce con aleaciones, estas piezas consistían en anillos en forma de "U" y pequeñas harritas. Estas eran fundidas en hornos circulares de 300 - 400 mm de diámetro, con paredes de 300 mm de espesor y que medían 120 - 150 mm de alto. Se encontró dentro de estos hornos restos de madera por lo que se presume que el material para la combustión era madera.

Luego vino una edad conocida como: "La edad entera del bronce" (1600 a.c.), en este periodo se llegó a fabricar lingotes, eran fundidos en hornos que tenían un diámetro aproximado de 600 mm, y pesaban alrededor de 38 kg. Luego se usaron hornos que constaban de un disco que pesaba 50 kg. y que tenían en el centro "el hogar". En esta misma era se encontró cobre en forma de discos de 3 - 6 mm de espesor y con 200 mm de diámetro, que tenían el 98% de pureza y pesaban alrededor de 6 kg., lo que implica que esos hornos alcanzaban una temperatura de alrededor de 1084 °C.

En la edad del hierro (2000 a.c.), aún durante la edad del bronce, se empezó a fundir hierro, estos

hornos eran del tipo "bandeja" ya que en un recipiente como bandeja se fundía el metal, la máxima temperatura que alcanzaban estos hornos era de 1150 °C. Estos hornos medían 400 mm de diámetro con una pared de 40 mm de espesor y con una profundidad de 1000 mm. Eran calentados por medio de carbón que era colocado en su exterior.

La edad romana del hierro, este periodo comprende el siglo II d.c., y se distinguen dos tipos básicos de hornos de pozo y cuba. Estos hornos medían hasta 6000 mm de alto y 3000 mm de diámetro y con cuatro túneles por donde se lo alimentaba. En el este de Inglaterra, alrededor del siglo 4 - 5 d.c., este tipo de horno medía hasta 6000 mm de alto, y un diámetro de hasta 3000 mm y también tenía cuatro túneles por donde se lo alimentaba, este tipo de horno tenía una capacidad de trabajo de 5 - 10 kg.

Durante el periodo medieval, el Imperio Romano empezó sus conquistas y con ello aumentó la tecnología en lo que a armamento se refiere. Es aquí cuando hace la aparición el primer alto horno, este empezó a usarse en China, y luego se utilizó a lo largo de toda Europa. Este tipo de horno medía 2000 mm de alto y tenía un considerable diámetro.

se lograba una temperatura entre 1200 - 1540 °C.

Los hornos fueron evolucionando, conforme la tecnología fue llegando, las innovaciones se fueron dando poco a poco y con ello las mejoras en los hornos. Durante la temprana edad de acero (hierro), se conoce el primer temple del acero este lo hacían a una temperatura 600 - 700 °C. En el siglo 11 se conocía el acero con 0.1 - 0.2% C. En el siglo 7 - 9 d.c. el acero contenía hasta 5% C, y se tiene conocimiento que lo templaban a 900°C.

CRITERIOS PARA LA CLASIFICACION DE LOS HORNOS PARA TRATAMIENTOS TERMICOS SUPERFICIALES

Los criterios que se explican a continuación, solamente son válidos para tratamientos térmicos superficiales.

Las características de los hornos son tantas que resulta imposible agrupar los hornos en categorías bien definidas y diferenciadas; se pueden aun hacer más diversos tipos de subdivisiones, según sea la característica que se tome como base. Aunque cuando se trata de hornos para proceso de cementación la lista se reduce enormemente.

De tal manera que se han considerado los que se pueden usar con este propósito y se han clasificado de acuerdo a los siguientes criterios.

1) Un primer criterio es aquel que tiene en cuenta la fuente de energía térmica: es decir los hornos se subdividen en: HORNOS A COMBUSTION Y HORNOS ELECTRICOS.

En el presente trabajo, solo se tratarán los hornos a combustión.

2) Un segundo criterio de clasificación se basa en el modo de funcionamiento vale decir se pueden dividir en HORNOS INTERMITENTES Y CONTINUOS. En el horno intermitente el calor absorbido por la albañilería y por el material elaborado debe perderse totalmente durante el enfriamiento; las operaciones de carga y descarga del material son generalmente más costosas y requieren generalmente personal especializado, el tiempo de utilización del horno, lógicamente resulta reducido debido que se pierde totalmente el tiempo requerido para el enfriamiento además se reduce también la duración del mismo debido a los efectos derivados del enfriamiento y calentamiento alternado que producen

dilataciones y contracciones de las paredes.

Por el contrario, en el horno continuo, las operaciones de carga y de descarga del material son más fáciles y las condiciones de trabajo del personal son más higiénicas, pero no son aplicables en las condiciones del proceso de cementación usando sales fundidas.

Una categoría intermedia está constituida por los hornos semicontínuos que resultan al acoplar varios hornos intermitentes; lo cual genera una mejora en la producción y generalmente se recurre a ellos solamente cuando en una instalación existente se quiera hacer continuo un ciclo de elaboración que antes se ejecutaba con varios hornos intermitentes separados o independientes.

Una última división se puede identificar con referencia al estado físico del combustible utilizado. Pero a este propósito es necesario hacer una observación: sería lógico subdividir los hornos en:

- 1.- Hornos a COMBUSTIBLE SOLIDO
- 2.- Hornos a COMBUSTIBLE LIQUIDO
- 3.- Hornos a COMBUSTIBLE GASEOSO.

1.3 CARACTERISTICAS

HORNOS DE SALES FUNDIDAS

En este tipo de hornos el material se calienta dentro de una cámara cerrada (mufla) generalmente de material refractario, de capacidad relativamente pequeña y de dimensiones no muy distintas una de la otra. La mufla se calienta por la circulación y el lamido de las llamas y por los productos de la combustión.

Se pueden alcanzar también temperaturas elevadas, pero siendo que el calentamiento del material dentro de la mufla se produce solo por irradiación y que el horno es de funcionamiento intermitente, el rendimiento térmico resulta siempre muy bajo. Los hornos de mufla son empleados cuando el material debe permanecer rigurosamente separado del combustible y de los productos de la combustión, particularmente en los casos de cocción de productos cerámicos decorados con esmalte y en metalurgia.

Los hornos de crisol son usados para la fusión de materiales y para tratamiento térmico de aleaciones

metálicas fundidas. El material está contenido dentro de los crisoles, simples vasos de material refractario, y estos están calentados dentro de hornos de reverbero en modo tal que son lamidos por las llamas y los productos de la combustión desarrollados en el hogar o derivados de la combustión de gas o petróleo. Los crisoles pueden ser tapados por una tapa o abiertos en la parte superior. Cumplida la fusión o tratamiento térmico los crisoles se extraen del horno a través de oportunas puertas, se los vacía del material elaborado y se vuelve a llenar con material a elaborar, en ciertos casos los crisoles permanecen siempre dentro del horno y el material se introduce y extrae por medio de dispositivos especiales.

En nuestro caso, el horno objeto del presente trabajo, se lo diseñó tomando en cuenta ciertos aspectos que se enumeran a continuación, y que estuvieron basadas en las consideraciones arriba anotadas.

Se decidió utilizar como combustible gas propano-butano. Ya que es uno de los combustibles más limpios, en lo que se refiere a la formación de desechos sólidos como producto de la combustión.

Los quemadores se decidieron hacer del tipo "tobera de mezcla". Se decidió utilizar este tipo de quemador por su facilidad de construcción y operación. Además el uso que va a tener es de producción unitaria.

Los quemadores van a estar instalados diametralmente opuestos, apuntando en dirección contraria a las manecillas del reloj y ubicados tangencialmente (el diseño del horno es circular), de tal manera que al producirse la llama esta gire en contra de las manecillas del reloj, para que sea ayudada por la aceleración de Coriolisis y también para que la llama no "golpee" de lleno al crisol, sino que esta recorra las paredes del horno circunferencialmente.

Tendrá como instrumentos de automatización un control de temperatura y una válvula solenoide para el control del paso del gas. La alimentación del aire estará a cargo de un soplador. El soplador y la válvula estarán conectadas en paralelo con el control de temperatura, de tal manera que la señal del control de temperatura vaya al soplador y válvula y se activen al mismo tiempo.

HORNOS ELECTRICOS

Cualquier material por el que pase una corriente eléctrica se calienta. La cantidad de calor generado depende de la densidad de corriente y de la resistencia específica del material. La temperatura que adquiere la resistencia depende de la cantidad de calor generado y del calor sustraído. Por medio de un equilibrio apropiado entre las dos formas de actuación, las resistencias pueden emplearse dentro de una gama muy amplia de temperaturas.

RESISTENCIAS LIQUIDAS

Cuando la resistencia líquida es una sal fundida, los electrodos, que tienen una conductividad mucho más elevada que la sal, llegan al baño por la parte de arriba, porque de esta manera, al calentar en baño de sales la pieza se sumerge. Si los electrodos se hallasen colocados en los extremos opuestos del depósito, no solamente sería alto el voltaje requerido sino que la corriente variaría mucho según fuera la forma y dimensión de la carga. También existiría el riesgo de un contacto inadvertido entre la pieza y los electrodos.

La conductividad de las sales fundidas varía considerablemente con la composición y temperatura. Por dicha razón, la distancia óptima entre los electrodos se halla por la práctica y por experiencia. Si la distancia entre los electrodos es menor que 25.4 mm, la sal se sobrecalentará; si la distancia es mayor que 76.2 mm, la circulación es débil.

Los electrodos se colocan en el interior de la cuba, y se utilizan electrodos de grafito, el cual posee una alta conductividad térmica y eléctrica.

RESISTENCIAS EXTERNAS A LA CUBA

La disposición y el montaje de los elementos varían con la clase y forma de las resistencias y también con la forma del horno. En los hornos anchos y lisos las resistencias se sujetan a la bóveda, si la resistencia mecánica de las mismas lo permite. Si la temperatura del horno es inferior o del orden de 827 °C pueden instalarse las resistencias bajo una solera de aleación resistente al calor. La gran mayoría de los elementos se instalan en las paredes laterales.

1.4 APLICACIONES

Para elevar la durabilidad de las piezas de máquina de mayor responsabilidad se usan ampliamente la cementación (carburación), nitrocementación y nitruración. A una escala algo menor se emplea la saturación superficial con boro, silicio y metales. Pueden servir de ejemplo las piezas de automóviles y tractores, de máquinas herramientas, agrícolas, textiles y otras, sometidas a la cementación, nitrocementación y nitruración. La mayoría de los elementos de máquinas funcionan en condiciones de desgaste, cavitación, cargas cíclicas y corrosión, a temperaturas altas y criogénicas, con las cuales las tensiones máximas surgen en las capas superficiales del metal, donde se acumulan los concentradores principales de esfuerzos. El tratamiento quimicotérmico, al elevar la dureza, la resistencia al desgaste, a la formación de rayaduras, a la cavitación y la corrosión y creando en la superficie favorables esfuerzos de compresión residuales, aumenta la fiabilidad y durabilidad de las máquinas.

Tomando en consideración que la construcción del horno, motivo del presente trabajo, es para

tratamientos termoquímicos del acero, las aplicaciones que tendrá serán todas aquellas que tengan relación con procesos termoquímicos. Pero también podrá servir para procesos metalúrgicos cuyas temperaturas no sobrepasen los 1200 °C temperatura máxima para la cual se diseñará el horno.

CEMENTACION CON CARBURANTE SOLIDO

Para la cementación las piezas se colocan en cajas llenas de carburante, como tal sirve el carbón vegetal en granos de 3.5 - 10 mm de diámetro, a los cuales se les agregan activadores: carbonato de bario y sosa calcinada en una cantidad de 10 - 40 % de la masa del carbón. El tiempo de calentamiento hasta la temperatura de cementación 910 - 930 °C es de 2 - 9 min. por cada centímetro de la dimensión mínima de la caja. Un gran inconveniente de la cementación con carburante sólido es la gran duración del proceso. Pero la versatilidad y la sencillez de la cementación condicionan su aplicación sobre todo en producción unitaria, puesto que el carbón vegetal es de fácil adquisición.

CEMENTACION CON GAS

La cementación con gas, se realiza en un carburizador que es un sistema de componentes múltiples que consta de N_2 - CO_2 - CO - H_2 - H_2O - CH_4 y se obtiene del gas natural, de mezcla propano-butánicas y otros hidrocarburos generadores especiales o mediante la pirólisis en la cámara de trabajo del horno de hidrocarburos líquidos. En este caso se puede obtener una concentración prefijada de carbono en la capa y se acorta el tiempo del proceso, puesto que no hay que calentar las cajas llenas de carburante. La cementación con gas se suele realizar a 900 - 950 °C, y a veces con el fin de acelerarla se la realiza a 1000 - 1050 °C.

CEMENTACION EN DESCARGA LUMINISCENTE

Llamada también cementación iónica. Los procesos principales del tratamiento en descarga luminiscente, son la pulverización catódica, es decir, el alejamiento de los átomos de la superficie del cátodo debido a su bombardeo por iones de gas, y la saturación por difusión de las capas superficiales con diversos elementos (N, C, B

y otros). El proceso se lo suele realizar a 1000 - 1050 °C.

CEMENTACION EN CAPA HIRVIENTE

En los últimos años fue elaborado el proceso de cementación en capa hirviente en una atmósfera de gas endotérmico con adición de metano. La capa hirviente es un sistema heterogéneo en el que un flujo de gas pasa por una capa de partículas pequeñas (0.05 - 0.2 mm), generalmente de coridón, creando entre estas una agitación intensa, cuyo aspecto recuerda un líquido hirviente. Durante la carburación a 920 - 950 °C en una atmósfera que contiene el 6% de metano, la concentración de carbono en la superficie alcanza el 1.5%. Una de las ventajas de este proceso es la reducción del proceso en virtud de la gran velocidad de calentamiento y debido al alto coeficiente de transferencia de masa, disminución de la deformación por la distribución de la temperatura en todo el horno.

El proceso de cementación en capa hirviente se puede aplicar en las fábricas de producción en pequeñas series e individual.

CEMENTACION CON PASTAS

En este caso la superficie a tratar se cubre con una capa que contiene hollín (30 - 70 %), polvo de carbón vegetal (20 - 60 %), ferrocianuro potásico (5 - 20 %) y otros componentes. Como materiales liqantes se emplean colas orgánicas, organominerales e inorgánicas. Después de revestidas y secadas las piezas se calientan hasta 950 - 1000 °C. El espesor de la capa de baño ha de ser 6 a 8 veces mayor que el espesor requerido de la capa cementada. A 350 °C durante 1.5 a 3.0 horas se puede obtener una capa difusiva de 0.6 a 1.0 mm de espesor.

CIANURACION DEL ACERO

Este tratamiento consiste en la saturación difusiva de la capa superficial del acero simultáneamente con carbono y nitrógeno a 820 - 950 °C en la masa fundida que contiene cianuros. La cianuración se aplica para elevar la dureza superficial, la resistencia al desgaste, el límite de fatiga a la flexión y la resistencia de contacto. La estructura después de la cianuración es análoga a la formada durante la nitrocementación.

NITROCEMENTACION DEL ACERO

Llamado también nitrocarburation es el proceso de saturación de la superficie del acero simultáneamente con carbono y nitrógeno a 700 - 950 °C en un medio gaseoso compuesto por gas carburante y amoníaco. Generalmente la nitrocementación se lleva a cabo a 850 - 870 °C. Esta es seguida del temple en aceite con recalentamiento o directamente después del horno de nitrocementación a partir de la temperatura de saturación o de un ligero preenfriamiento. Para disminuir la deformación se recomienda aplicar el temple escalonado con exposición en aceite caliente a 180 - 200 °C. Este proceso obtuvo una amplia difusión en la construcción de maquinaria para tratar las piezas cuyas condiciones de funcionamiento, no requieren un espesor de la capa endurecida mayor de 0.2 a 1.0 mm.

NITRURACION

La nitruración consiste en la saturación difusiva de la capa superficial del acero con nitrógeno (con nitrógeno y carbono) durante el calentamiento en un medio adecuado. La nitruración se suele realizar a

500 - 600 °C . Los últimos años se utiliza cada vez más ampliamente la nitruración a alta temperatura 600 - 1200 °C. Como resultado de la nitruración el acero adquiere alta dureza de la capa superficial que no se altera durante el calentamiento hasta 400 - 450 °C; resistencia elevada al desgaste y baja tendencia a la formación de rayaduras, alto límite de fatiga, alta resistencia a la cavitación, buena resistencia a la corrosión en la atmósfera, agua dulce y vapor.

SULFONITRURACION

Para mejorar el ajuste, elevar la resistencia al desgaste y a la formación de rayaduras, sobre todo cuando se produce rozamiento seco y semiseco, se aplica la sulfonitruración (también se usa el término sulfocianuración), es decir, la saturación simultánea de la superficie con: N, C y S. El proceso se lleva a cabo a 560 - 620 °C en una atmósfera de amoníaco con adiciones de carbono y de sustancias sulfúreas. Este proceso se lleva a cabo durante 1 a 4 horas. Después del proceso se forma una capa de oxisulfuro que, eleva la resistencia al desgaste y a la formación de rayaduras.

1.5 ASPECTOS TECNOLOGICOS DE LOS HORNOS DE SALES

El tipo de horno usado en una industria está en directa dependencia de la operación que en él se debe realizar, por lo tanto el uso que a éste se le va a dar dependerá únicamente de los procesos productivos de cada industria en particular. Cuando ha sido determinada la operación industrial para la cual se desea proyectar y construir un horno, esto es, cuando han sido establecidas las transformaciones físicas o químicas, a las cuales un material debe ser sometido, la elección del tipo y características del horno a adoptar depende de los siguientes elementos:

- a.- naturaleza del material a tratar.
- b.- cantidad del material a tratar en la unidad de tiempo, esto es potencialidad del horno.
- c.- cantidad de calor necesario por unidad de peso o de volumen del material.
- d.- Temperatura máxima a alcanzar, duración del período de máxima temperatura, y ley de variación de la misma en las fases de calentamiento y enfriamiento.
- e.- característica de la atmósfera que debe reinar en el horno, en la cual se deben desarrollar las transformaciones.

r.- calidad del combustible de que se dispone o pretende usar.

q.- mayor o menor afinidad de contacto del material a tratar con el combustible y con los productos de la combustión.

p.- conveniencia o posibilidad de utilizar en el horno mismo o en instalaciones contiguas el calor eventualmente recuperable, o el irradiado por las paredes del horno.

i.- conveniencia o posibilidad de utilizar un horno continuo en vez de uno intermitente.

j.- mayor o menor disponibilidad de energía eléctrica o de otra fuerza motriz para máquinas y aparatos.

k.- economía de costo de instalación y funcionamiento.

CONSTRUCCION DEL HORNO

Un horno es una estructura para la cual valen las mismas leyes de estabilidad que para las construcciones ordinarias, pero que está además sujeta en algunos casos a enormes esfuerzos debido a las diferencias de dilatación que se producen entre las diversas partes del horno sometidas a temperaturas muy diferentes. Para su construcción

Se requiere para su revestimiento interior los materiales refractarios, cuyas características deben ser elegidas en cada caso en relación a la naturaleza de los elementos y operación a desarrollar.

UBICACION DEL HORNO

Es preferible que el local donde esté ubicado el horno esté separado de las otras secciones, especialmente en aquellos casos en los que el humo y el polvo que inevitablemente se esparcen en el aire circundante al horno pudieran dañar los materiales en proceso de elaboración en las otras secciones. Debe de estar en un lugar cerrado donde la ventilación no sea excesiva tanto por la disipación de calor, como por salud de los operarios. Es preferible que exista espacio suficiente para las inspecciones del horno como también para facilidad de maniobrabilidad de la materia prima y procesada. Por la excesiva temperatura reinante, se está sujeto al peligro de incendio por las presencia del combustible, de manera que, proveer con el equipo adecuado un posible incendio debe de ser primordial en el lugar en donde se opere el horno. No es necesario un

local con excesiva iluminación, si bien es cierto que una buena iluminación permite mejores condiciones de trabajo, un lugar con poca iluminación permitiría ver mejor el interior del horno.

CONSIDERACIONES GENERALES

Aun el horno mejor proyectado y construido da malos resultados si no está bien conducido, y aún en el mejor pueden ocurrir incidentes. No es tan sencillo detectar un excesivo consumo de combustible y, una vez constatado el hecho, casi nunca se puede diagnosticar la causa. Solo un control eficaz permite reducir al mínimo el consumo de combustible necesario para producir la cantidad de calor indispensable requerida por la operación térmica y da la certeza de evitar desperdicios inútiles sin el temor de que la economía perjudique la marcha del horno. La instalación de aparatos de control en un horno es ventajosa por cuanto permite al personal realizar las maniobras necesarias basándose sobre datos precisos. Los aparatos de control usados en un horno son: medidores de temperatura, medidores de caudal, medidores de presión y analizadores de gases.

CAPITULO II

MEMORIAS DE CALCULO Y CONSTRUCCION

En el presente capítulo, haremos una descripción detallada de como se construyó todo el equipo, así como los materiales que se utilizaron, la forma de como se llevo a la conclusión de que esos materiales eran los más adecuados para el presente trabajo, la manera de como se los usó y a justificación tecnológica de las correcciones que se les pudo haber dado a dichos materiales. Así también se detallarán las pruebas de rendimiento y los resultados de las mismas.

La mayoría de los datos utilizados para estos cálculos, están basados en pruebas experimentales y en lo que a la experiencia personal de los autores de los libros tomados como referencia. Es así que muchos cálculos están basados en tablas y gráficos al respecto.

2.1 DISEÑO DEL EQUIPO

Según Trinks, "En los baños de sales y metálicos se transmite el calor a la carga principalmente por conducción. La convección y la radiación desempeñan papeles secundarios en los hornos de carga por lotes. El calor se transmite a las

piezas tan rápidamente que esta función no determina la capacidad del horno. Las dos características que determinan la capacidad del horno son: el volumen del baño, que debe ser lo suficientemente grande para que la inmersión de las piezas reduzca la temperatura del baño solamente en unos pocos grados. Además, la superficie a través de la que se imparte calor al baño debe ser lo suficientemente amplia para permitir la transmisión del calor sin que se produzcan desperfectos en el depósito. Si el calor se transmite a través de una cuba metálica, el área de ésta a través de la que se transmite el calor debe ser suficientemente grande para impedir que se estropee la cuba por oxidación o recalentamiento."

La cantidad de calor a impartir a la carga durante una inmersión es igual al peso por el calor específico, por la diferencia de temperaturas. La palabra "carga" incluye los depósitos para carga de piezas a granel.

Se necesita una aportación adicional de calor para compensar el calor que se pierde por radiación de la superficie descubierta al baño. La emisividad de un baño de sales es aproximadamente 90%.

CONSIDERACIONES A TOMARSE EN EL DISEÑO DEL EQUIPO

Cuando se va a diseñar un equipo, se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones, las cuales deben de satisfacer los requerimientos que determinaran el funcionamiento del horno.

Para llevar a cabo este objetivo, nos formulamos las siguientes preguntas:

- a.- Qué voy a diseñar? (construir)
- b.- Para qué lo voy a diseñar? (uso)
- c.- Cómo lo haré? (condiciones)

Para nuestro caso, la respuesta es: "Horno para tundir sales, en las que se cementaran piezas de acero".

Entonces, tenemos las condiciones que limitan el equipo, las cuales están relacionadas con las medidas.

CONSIDERACIONES GENERALES

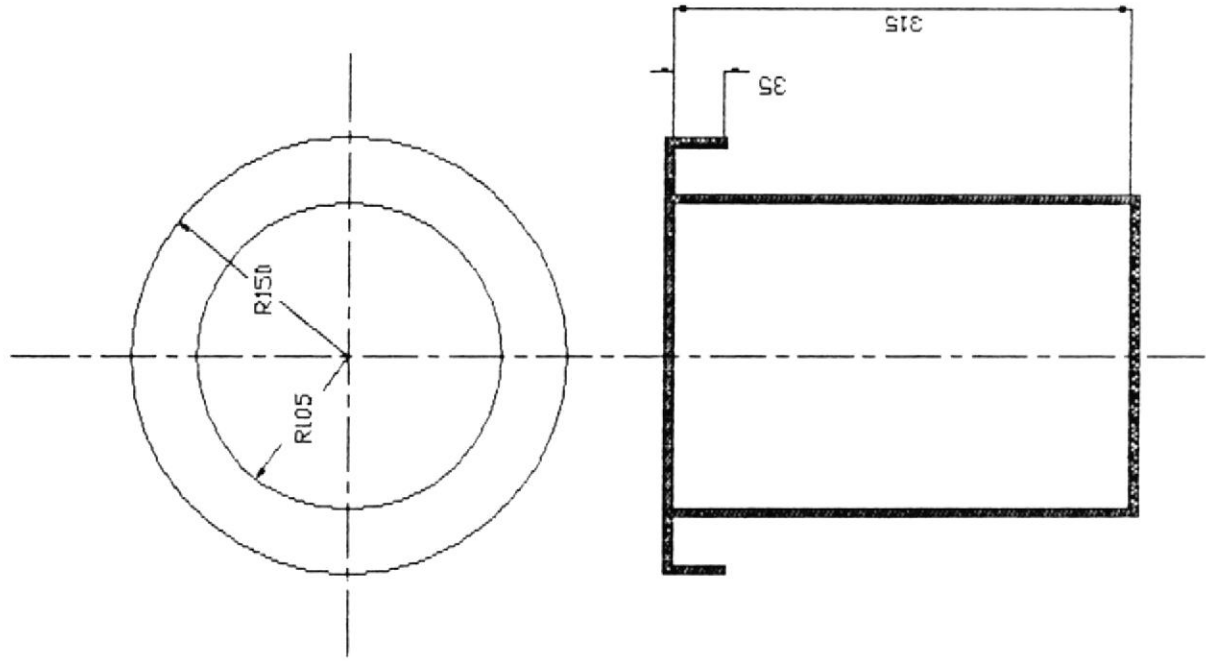
El equipo, se diseñó en base del crisol que se que se utilizará para el proceso. La primera


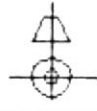
consideración es la forma que va a tener el horno, esta, está relacionada directamente con la forma del crisol. Pruebas, experimentos y prácticas han demostrado que la mejor forma es circular, entonces se decidió utilizar un crisol de las siguientes medidas: diámetro = 210 mm y altura = 310 mm.

Como el diámetro del crisol es de 210 mm y la distancia más óptima entre el crisol y la pared interior del horno para que se pueda desarrollar la llama, es de 80 mm, el diámetro interior del horno será de 370 mm y lógicamente el diámetro externo será de 470 mm. La altura del horno se la tomó de acuerdo a la facilidad que este otorgue para su maniobrabilidad y operación, esta fue de 500 mm. De la misma manera la base del horno tendrá un espesor de 50 mm. La cubierta externa será un cilindro de 1000 mm de altura y 770 mm de diámetro externo. El cilindro está construido de una plancha de acero de 6.35 mm de espesor. El horno estará montado sobre una base de ladrillos refractarios para aislarlo del suelo. La diferencia entre la pared externa del concreto aislante y la pared interna del cilindro, será rellena con piedra pómez #3, inclusive en la parte inferior.

Se utilizará gas propano-butano como combustible, por ser uno de los combustibles más limpios en lo que a formación de desechos sólidos produce como producto de la combustión (cenizas), además por la facilidad de encendido, combustión y auto encendido a altas temperaturas, porque el horno estará sometido a continuas "prendidas y apagadas", y por último la limpieza del combustible, el gas es un combustible sumamente limpio lo cual evitará que se tapen las toberas de los quemadores.

Los quemadores serán del tipo "tobera de mezcla". Estarán ubicados diametralmente opuestos e instalados tangencialmente, apuntando en sentido contrario a las manecillas del reloj, de tal manera, que al producirse la llama esta gire en ese sentido. Los quemadores se instalaron de esa manera, para que las llamas giren en contra de las manecillas del reloj y de esta manera sean ayudadas por la aceleración de Coriolis. Y están ubicados diametralmente opuestos para que cuando se forme la llama esta recorra las paredes del horno y no "golpee" de lleno al crisol, sino que lo pase tangencialmente, porque las llamas recorrerán las paredes del horno.



Material		Peso	
<p style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;">CRISOL</p> 		Escala	
		1:5	
			
		<p style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;">ESPOL</p>	
Fecha	Nombre	Dibujo	
	LIN CHIANG	REVISO	
		Zumbado	

CAPACIDAD DEL CRISOL

La capacidad del crisol está determinada por el volumen del mismo. De acuerdo al volumen del crisol se determinará la cantidad de sal que entrará en este.

$$d = 210 \text{ mm} \quad \text{y} \quad h = 310 \text{ mm}$$

$$A = \pi \times \frac{d^2}{4} = 346.36 \text{ cm}^2$$

$$V = A * h = 10737.18 \text{ cm}^3$$

$$10737.18 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{(100 \text{ cm})^3} = 0.010737 \text{ m}^3$$

Entonces el volumen del crisol será $V = 0.010737 \text{ m}^3$

CALCULO DE LA MASA DE SAL

$$\text{Volumen del crisol} = 0.010737 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad de la sal de } 845 \text{ a } 900 \text{ }^\circ\text{C} = 1760 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa} = \text{Densidad} * \text{Volumen} = 18.89 \text{ kg}$$

Luego la masa de sal que entrará en el crisol en la temperatura de trabajo ($875 \text{ }^\circ\text{C}$) será:

$$M = 18.89 \text{ kg.}$$

2.2 DISEÑO DE PARED

El cálculo del diseño de la pared, está ligado con la pérdida de calor que se produce a través de esta. El cálculo de esta pérdida se efectúa en base a las fórmulas de transmisión del calor a través de una pared entre dos fluidos en reposo; solamente en casos especiales será oportuno considerar el fluido interno como en movimiento y aplicar las fórmulas correspondientes. Por simplicidad, en general se desprecia el calor disipado por la parte correspondiente a la fundición y por las partes enterradas de los hornos dado que generalmente dicha pérdida es leve, mientras que el cálculo relativo sería laborioso y poco exacto. La única incertidumbre en el cálculo del calor disipado es establecer que superficie disipadora se debe considerar, puesto que existe una diferencia entre adoptar como superficie disipadora la interna o la externa del horno. Aproximadamente se tendrán los valores exactos tomando como superficie disipadora aquella que corresponde a la superficie media de cada una de las paredes. Las puertas y otras aberturas se desprecian, calculando como si estos huecos estuvieran llenos.

Sobre la cantidad de calor transmitida a través de las paredes, tiene una pequeña, pero no despreciable influencia la permeabilidad de las paredes a los gases; en efecto si el horno está a una presión relativamente elevada respecto al exterior, aunque las paredes no presenten grietas, por su sola porosidad pasa a través de ellas una cierta cantidad de gas caliente, el cual extrae una cantidad de calor que va a aumentar las pérdidas por conductividad. Tal aumento deberá ser estimado en cada caso según las condiciones del horno.

Al calcular la pérdida de calor relativa a la disipación a través de la estructura debe calcularse solamente a partir del momento en el cual el horno ha alcanzado la temperatura de régimen.

El cálculo de la cantidad de calor transmitida al exterior a través de la estructura del horno durante el periodo de puesta a régimen sería muy laborioso, por ello es más lógico englobar a ésta entre las pérdidas por calentamiento del horno, tanto más, al ser tal cantidad de pequeña magnitud respecto a la cantidad de calor absorbida por la estructura para su

calentamiento.

SELECCION DEL MATERIAL DE LA PARED

Uno de los principales objetivos cuando se decidió construir el horno, era el que éste sea pequeño y no muy pesado, por ello se descartó la utilización de los ladrillos refractarios, porque éstos harían que el horno fuera pesado y grande. Entre los materiales que se podían utilizar estaban el cemento refractario y el concreto aislante. Se descartó el cemento refractario porque no reunía las condiciones necesarias, (en especial temperatura máxima de trabajo) en cambio el concreto aislante si las presentaba.

Consecuentemente se tomó la decisión de que el horno esté compuesto por dos paredes aislantes, habiendose ya elegido la primera, la segunda se la pensó hacer de fibra cerámica, este material presentaba grandes propiedades de aislamiento, y era el material ideal para ser usado. Pero la piedra pómez presentaba las mismas propiedades, y el costo es mucho más bajo, entonces por consideraciones económicas se decidió utilizar piedra pómez como segundo componente de las paredes

del horno.

Entonces, se decidió utilizar concreto aislante como material para la construcción de la primera pared del horno, luego se utilizó una pared de piedra pómez, y el recubrimiento externo un cilindro de acero.

TEMPERATURA DE LA LLAMA

Según fig. # 99 en la pag. # 158 del libro de W. Trinks, la temperatura de la llama será:

Temperatura ambiente $\approx 28^{\circ}\text{C}$.

Exceso de aire $\approx 10\%$.

Entonces la temperatura de la llama será $\approx 1937^{\circ}\text{C}$.

Esta temperatura hallada, será la ideal. Porque esta temperatura variará si es que se cambia la temperatura del aire de alimentación, si éste está "frío" la temperatura de la llama disminuirá, y si al contrario el aire es precalentado, la temperatura de la llama aumentará.

La temperatura calculada, tiene un valor no muy alejado de la realidad, pues según Metals Handbook en el volumen # 4, pag. # 487, tabla # 1 los

valores para el gas de ciudad es 1985°C y para el gas natural es 1875°C . Estos datos se encuentran en la tabla # 4 del presente trabajo. El porcentaje de error en base a los datos de Metals handbook es del orden del $\approx 2.4\%$.

TEMPERATURA DE LA PARED INTERNA DEL HORNO

Utilizando la tabla # 6 en la pag. # 60, se pudo determinar la temperatura en la pared interior del horno, tomando como base las medidas del crisol y horno. También se tomaron en cuenta las siguientes asunciones:

- 1.- Temperatura de los gases 1316°C .
- 2.- Temperatura de la carga 872°C (temperatura a la cual se puede hacer la cementación).
- 3.- Espesor de la capa gaseosa $s = 0.304$.

Diámetro del cilindro = 0.21 m

Diámetro del horno = 0.37 m

Relación de superficies $R = \frac{0.21^2}{0.37^2} = 0.567 \approx 0.6$

Interpolando en la tabla # 6, pag. # 60, tenemos:

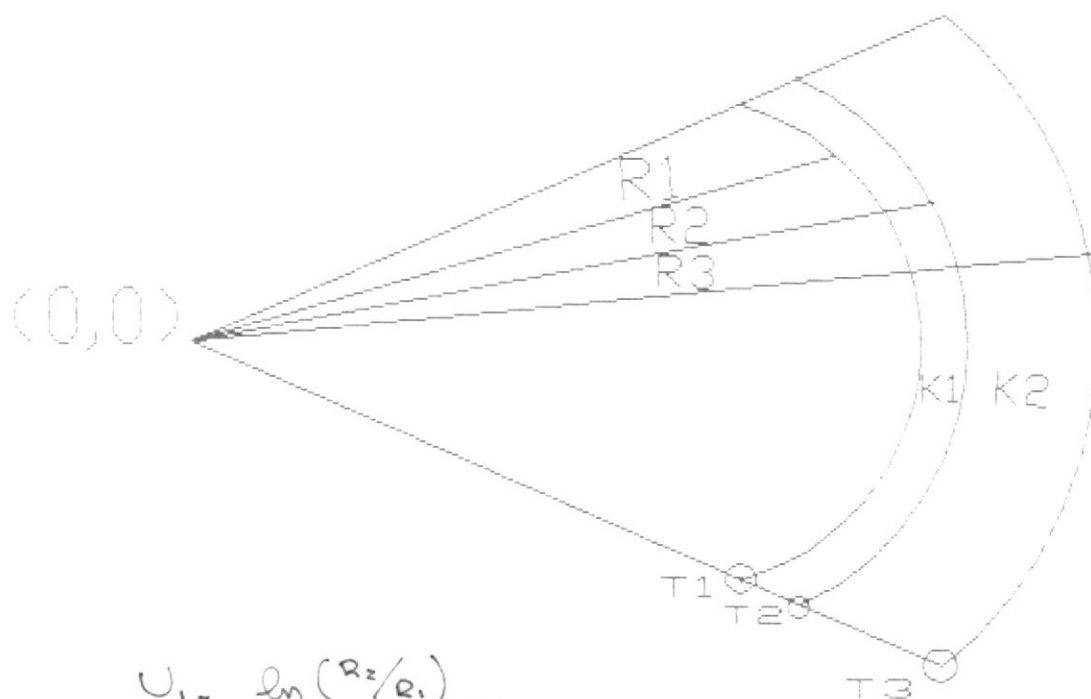
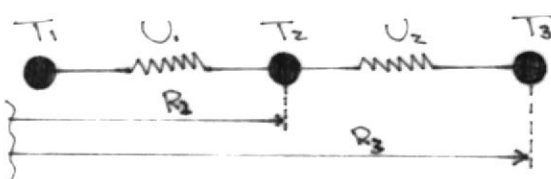
$$\frac{0.5 - 0.7}{10.21 - 994} = \frac{0.6 - 0.7}{x - 994}$$

$$-2.7 = -0.2x + 198.8 \quad \text{---} \quad x = 1007.5^{\circ}\text{C}$$

La temperatura de la pared será $T = 1007.5^{\circ}\text{C}$.

Esta temperatura está cerca al valor real, pues cuando se hizo las pruebas (sección 2.7) la temperatura medida fue de 1037.8 °C. El porcentaje de error es del orden del $\approx 3\%$.

CALCULO DE LA PERDIDA DE CALOR EN LAS PAREDES DEL HORNO



$$U_1 = \frac{\ln(R_2/R_1)}{2 \times \pi \times K_1 \times l}$$

$$U_2 = \frac{\ln(R_3/R_2)}{2 \times \pi \times K_2 \times l}$$

$$Q = \frac{T_1 - T_3}{U_1 + U_2}$$

$$T_1 = 1037.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 241.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Para } T_1 = 1037.7 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ ---- } k_1 = 0.49 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

$$R_1 = 0.185 \text{ m}$$

$$R_2 = 0.235 \text{ m}$$

$$L = 0.5 \text{ m}$$

$$2 * \pi * L = 2 * 3.14 * 0.5 = 3.141$$

$$\ln \frac{R_2}{R_1} = 0.279$$

$$U_1 = \frac{\ln (R_2 / R_1)}{2 * \pi * k_1 * L} = 0.152$$

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{U_1} = 5236.18 \text{ W}$$

$$Q = 5.23618 \text{ kw}$$

Este valor de Q es el que se pierde a través de la pared de concreto aislante. Se lo calculó con los únicos datos de temperatura conocidos, el de la pared interna (calculado) y de la pared intermedia (medido).

Con el valor de Q, calculamos el espesor de la pared de piedra pómez:

$$T_2 = 241.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Para } T_2 = 241.8 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ ---- } k_2 = 0.25 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

$$\ln \frac{R_3}{R_2} = 0.49366$$

$$U_2 = \frac{\ln (R_2 \div R_1)}{2 * \pi * k_2 * l}$$

$$Q = \frac{I_2 - I_1}{U_2}$$

$$5206.3 \text{ W} = \frac{41.8 - 28}{\frac{\ln R_2 + 1.44617}{0.7853}}$$

$$\ln R_2 = -1.4161$$

$$R_2 = 0.2426 \text{ m}$$

De manera que el espesor de la pared de piedra pómez para la temperatura de régimen (870 °C) será: 576 mm = 5.76 dm.

Pero el espesor se lo hará más grande, por seguridad, porque el horno puede tener otros usos, en los cuales la temperatura de la carga será mayor, pero sin sobrepasar los 1200 °C temperatura máxima que resiste el concreto. El espesor de la pared será: 150 mm = 15 cm.

Como las temperaturas y pruebas se realizaron en una hora de trabajo, entonces:

$$860 \frac{\text{Kcal}}{\text{kw h}} * 5.23616 \text{ kw} = 4503.11 \text{ Kcal/h}$$

La cantidad de calor que se transmite hacia las paredes en una hora de trabajo será:

$$Q = 4503.11 \text{ kcal/h.}$$

2.3 CALCULO DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Según la naturaleza de la energía empleada, los equipos liberadores de calor (sistemas de calentamiento) consisten en un dispositivo de combustión o en un elemento eléctrico de calentamiento. En los hornos diseñados correctamente, el equipo y el horno están adaptados adecuadamente uno a otro y forman una combinación integral que genera y utiliza calor.

El equipo ideal de liberación de calor (calentamiento) debe satisfacer las siguientes especificaciones:

- 1.- Permite alcanzar una temperatura controlada uniforme en el horno.
- 2.- Permite obtener una atmósfera controlada y uniforme en el horno.
- 3.- No se destruye por el calor que libera.

Como el combustible a usarse en el presente trabajo es el propano-butano, todas las asunciones y cálculos se basarán para este tipo de combustible. Las pruebas y teoría demuestran que si una molécula de CO o de H₂ se mezcla con una molécula de O₂ a o por encima de la temperatura de ignición, la

reacción es tan rápida que se puede llamar instantánea. Si el combustible es CH_4 la molécula de oxígeno se combina tan solo con una parte de la molécula de metano; la la combustión no es completa hasta que lleque otra molecula de oxígeno. La combustion sigue siendo rápida, pero no instantánea. El resultado lógico es que la velocidad de la combustión y de la liberación de calor está determinada por la rapidez y perfección de la mezcla y por la velocidad con que se lleva la mezcla hasta o por encima de la temperatura de ignición. Dentro de ciertos límites, las mayores temperaturas producen una combustion más rápida.

CARACTERISTICAS Y VENTAJAS DEL COMBUSTIBLE

El gas natural ofrece unas características determinadas. No contiene azufre y es limpio, es decir no contiene impurezas. Su llama es voluminosa y homogénea, de esta manera, se distribuye ampliamente el calor y así se evita recalentamientos locales. La mezcla con el aire, es fácil por lo que no es difícil conseguir el tipo de llama que se requiera.

El gas natural no requiere precalentamiento previo.

tampoco necesita bombeos y tampoco necesita aditivos que se usan corrientemente hay que mezclar con el fuel-oil.

Siempre que se utilice el gas y el equipo apropiado de combustión, se tendrá la ventaja de que la llama, de poco poder radiante, pero de gran intensidad, proporciona una distribución de calor uniforme y amplia, es decir, la pared o pieza más cerca del horno no estará expuesta a fusión o calentamiento brusco, como con los combustibles tradicionales.

La propia naturaleza del gas, permite que la combustión sea regulada. Mientras que el combustible líquido necesita irremediablemente gran cantidad de aire para producir la ignición, y tiene una gran limitación en la mezcla con el aire primario, el gas natural puede arder, aun cuando el ambiente donde se encienda disponga de menos aire, ya que por su misma naturaleza permite llegar a la zona de cocción, con una mezcla suficiente de aire primario. De la misma manera, a la temperatura de trabajo, por encima de los 800 °C, el gas se autoenciende a esa temperatura.

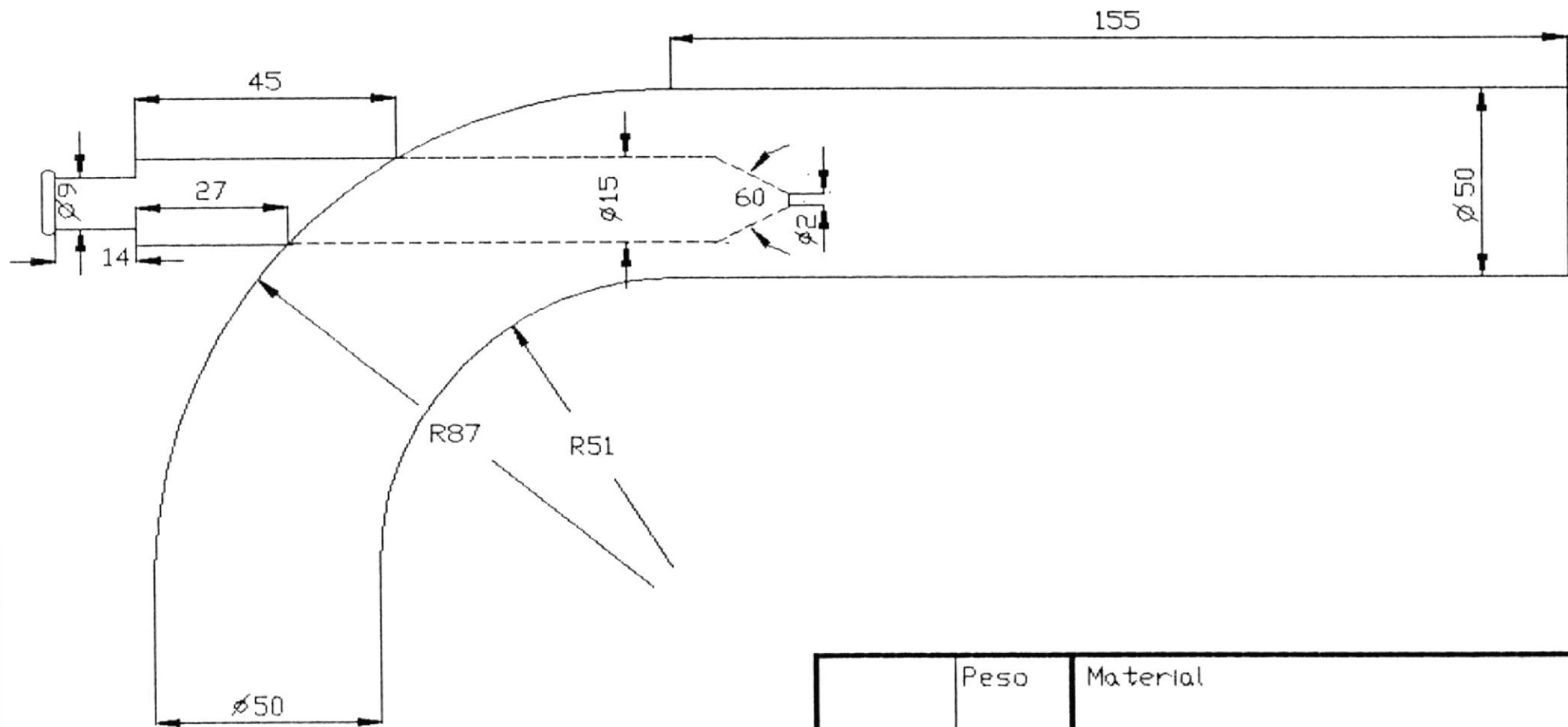
CALCULO DEL QUEMADOR

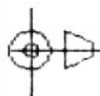
La necesidad de realizar un cálculo lo más cercano a la realidad, nos ha llevado a utilizar tanto los conocimientos registrados por medio de la experiencia, como los que se derivan de los métodos científicos de transferencia de calor y mecánica de fluidos. Según Maganoff, "Es evidente que la perfección y la profundidad del desarrollo de la teoría del trabajo de los hornos refleja directamente el grado de conocimiento de la esencia de los procesos en los hornos. Actualmente, para el cálculo de algunos hornos este método está en principio de estudio, para otros simplemente no existe todavía, es por ello que para los cálculos de hornos de tipo metalúrgico, en la mayoría de los casos se prefiere el método empírico".

Por ello, en nuestros cálculos, se hacen asunciones teóricas para mayor facilidad.

DISEÑO DE LOS QUEMADORES

El gas y el aire se mezclan, en ocasiones, en el horno o en una cámara de combustión que puede intercambiar libremente el calor radiante con el



	Peso	Material	
	Fecha	Nombre	Escala
Dibujo		LIN CHIANG	1:1
Revisor			
Dibujista			
ESPOL			

calor de la cámara de calentamiento y, por otro lado, es también una parte del horno. En algunos dispositivos de combustión que mezclan gas y aire en el horno, el gas se introduce en la corriente del aire (es preferible que éste sea precalentado) a poca distancia de la entrada de la cámara del horno. Los conductos de gas, junto con las losas refractarias inclinadas, se llaman corrientemente quemadores. Una ligera mezcla se produce inmediatamente fuera de los quemadores, pero casi toda ella se produce en la cámara principal del horno. Para nuestro caso, se decidió utilizar un sistema de dos tuberías, con mezcla antes de la entrada al horno.

QUEMADOR DE TOBERA DE MEZCLA

La expresión "quemador de tobera de mezcla" se emplea para los dispositivos en los cuales el aire y el gas se mezclan a escasa velocidad inmediatamente antes de la cámara refractaria del quemador o a la entrada de ésta. Este quemador se empleó mucho en hornos de empujes anchos y aún hoy en día es el preferido para quemadores en hornos de producción unitaria o de muy poca producción, debido a su simplicidad. Como se aprecia en la

figura # 2, la mezcla comienza a realizarse a la entrada de la cámara refractaria del quemador y puede completarse en el mismo horno. El grado de mezcla a la entrada de la cámara refractaria del quemador puede variarse cambiando el diseño. La longitud 1 a 2 del cono de la mezcla puede cambiarse en relación al diámetro de la tubería. La mezcla que en una tubería recta se realiza en un cono de 20° se completa si este cono se encuentra en el interior del tubo. Con una dimensión dada de tubería de gas se obtiene una gran velocidad de descarga reduciendo la tubería hacia abajo o tapándola y colocando una boquilla en la tapa. Si dicha tapa tiene orificios laterales se obtiene una mezcla aun más rápida.

PELIGROS DE EXPLOSION EN HORNOS

Hay tres etapas en el proceso de combustión en el que puede ocurrir la explosión, las cuales son:

- 1.- Durante el apagado
- 2.- Durante la operación normal
- 3.- Durante el reencendido que sigue al apagado accidental de un quemador

La explosión en la segunda etapa debido a la falla en la llama han recibido especial atención en la

aprobación de medidas de seguridad para la protección contra este peligro. Sin embargo el peligro de explosión durante la combustión debido a la acumulación de productos de combustión incompleta no ha sido totalmente comprendido. La operación de un quemador de gas con insuficiente aire para la combustión total, no es solamente peligrosa desde el punto de vista de la explosión, sino que es antieconómico en que el contenido total de calor del suministro de gas al quemador no es completamente utilizado.

Cuando un quemador de gas es operado con insuficiente aire para una completa combustión, pueden presentarse cantidades variables de monóxido de carbono e hidrógeno en los productos de combustión, junto con cantidades variables de nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua. El oxígeno (aire) puede entrar al sistema de calentamiento a través de escapes en puertas y juntas, el aire fresco entra por la ineficiente mezcla del aire de combustión y el gas que está siendo suministrado al quemador.

Con la entrada de aire fresco y las puertas del horno cerradas la formación de productos inflamables explosivos y mezcla de aire en el sistema de

calentamiento, mientras que se opera con un quemador de llama estable, resultará de la operación del quemador o quemadores con aire insuficiente para la combustión completa aparejado con la fuga de insuficiente aire dentro del sistema, aunque la cantidad de aire suministrada al quemador puede ser teóricamente suficiente para complementar la quema del gas, no todo este aire puede mezclarse apropiadamente en el gas resultando la formación de una mezcla de combustible libre y aire en el sistema.

CALCULO DEL AIRE TEORICO Y PRACTICO PARA EL COMBUSTIBLE

Los combustibles comerciales, pasan en su estado natural o en forma preparadas, pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos. Los elementos fundamentales de un combustible son: carbono (C) e hidrógeno (H). El azufre (S) es un elemento que no se considera como combustible, sino más bien como un cuerpo indeseable.

QUIMICA DE LA COMBUSTION

Combustión es sinónimo de oxidación y consiste en

la unión del oxígeno (O) con una materia combustible. Los grados de la misma varían ampliamente, conociéndose la combustión lenta y la combustión rápida o detonación.

De acuerdo con los fundamentos de la química, la unión del carbono (C) y oxígeno (O) se expresa de la siguiente manera:



Las expresiones anteriores indican que 1 peso molecular de C se combina con 1 peso molecular de O para producir 1 peso molecular de anhídrido carbónico.

1 mol de una sustancia vale M kg. cuando M es el peso molecular. Aún cuando las cantidades que se combinan pueden expresarse en kgs. es más sencillo efectuar los cálculos utilizando moles y transformándolo en kg. o m³ solamente cuando sea necesario.

Se dice que una combustión es completa cuando el combustible es totalmente oxidado y se libera toda la energía. La expresión [1] corresponde a la

oxidación completa del C.

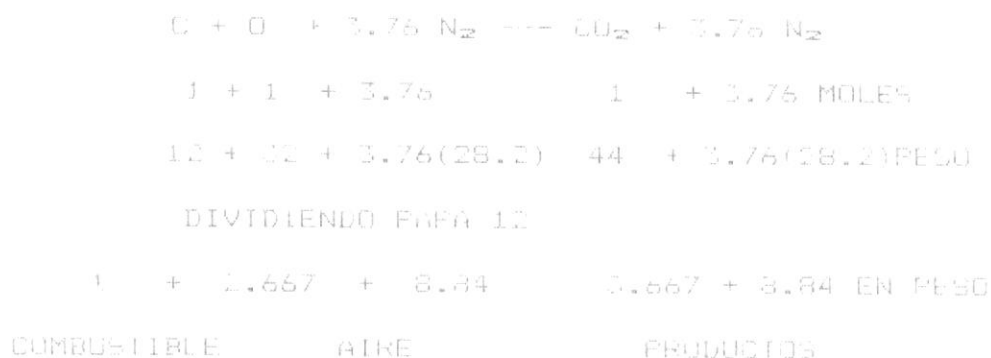
La combustión incompleta puede ser debida a:

- 1.- Insuficiencia de O.
- 2.- Mezcla imperfecta entre el combustible y el O.
- 3.- Temperatura demasiado baja para mantener la combustión.

El oxígeno necesario para la combustión es captado siempre del aire, acompañándole gran cantidad de nitrógeno (N), debido a que no es fácil la separación de ambos. Es por tanto necesario revisar las propiedades del aire como manantial de oxígeno (O).

Por ser el C y el H los elementos fundamentales, calcularemos el aire requerido para cada uno de estos elementos:

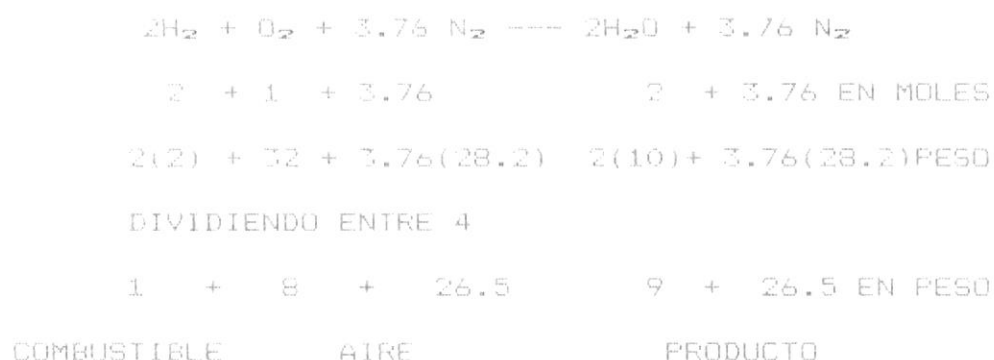
Carbono



Por lo tanto, el aire requerido será:

$$(2.667 + 8.84) = 11.5 \text{ kg. aire/kg. de carbono.}$$

La combustión del hidrógeno (H) en el aire viene representada por la siguiente ecuación:



Por lo tanto el aire requerido por kg. de hidrógeno (H) será:

$$(1 + 3.32) = 4.32 \text{ kg.}$$

Las proporciones químicamente correctas no producen la combustión incompleta, ya que es muy difícil que cada una de las extraordinariamente numerosas moléculas que componen el combustible encuentren una molécula de O para combinarse con ella. Para lograr la total oxidación del combustible, es necesario utilizar una mezcla que tenga un cierto exceso de aire. Si el aire es menor al teórico necesario, pueden producirse pérdidas importantes en forma de óxido de C., H libre e hidrocarburos destilados.

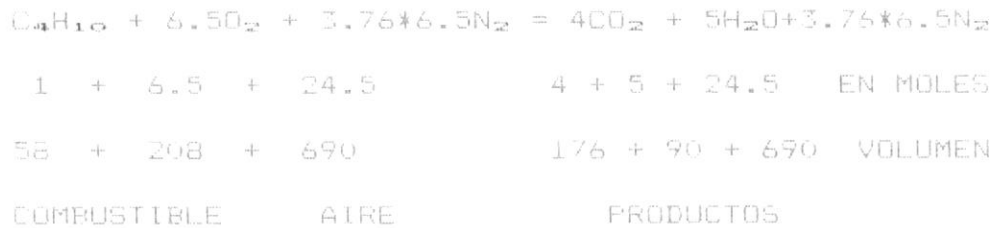
En un hogar, el fin que se persigue consiste en emplear el mínimo de exceso de aire compatible en la combustión completa. La cantidad de aire necesaria en exceso para el funcionamiento del hogar o quemador, depende de la temperatura a la cual se encuentra la mezcla y del grado de mezclado entre el combustible y el aire. Estos factores se resumen en temperatura y turbulencia. Si un combustible puede ser fuertemente dispersado y totalmente mezclado con el aire, su combustión puede lograrse con un pequeño exceso de aire.

CALCULO DEL AIRE TEORICO PARA EL GAS

Este gas, de acuerdo con la secretaria de Industrias y Comercio consta de 70% de butano y 30% de propano. Pero para nuestros cálculos asumiremos la siguiente composición butano 93.0% y propano 7.0%. Se hace esta consideración, porque en las tablas está esa composición.

Efectuaremos los cálculos primeramente para el 100% de cada elemento y posteriormente tomaremos el porcentaje para el aire teórico necesario.

La fórmula del butano es C_4H_{10}



$$(3.6 + 11.8) = 15.4 \text{ kg. de aire para el 100\%}$$

$$0.93 \cdot 15.4 = 14.322 \text{ kg. de aire para el 93\%}$$

La fórmula para el propano es C_3H_8



DIVIDIENDO ENTRE 44 TENEMOS:

$$1 + 3.64 + 12 \quad 3 + 1.64 + 12.05 \text{ EN PESO}$$



$$3.64 + 12 = 15.64 \text{ Kg. de aire para el 100\%}$$

$$0.07 \cdot 15.64 = 1.095 \text{ Kg. de aire para el 7\%}$$

haciendo estos dos aires teóricos, obtendremos el aire requerido para el gas

$$93\% \text{ BUTANO} = 10.8$$

$$7\% \text{ PROPANO} = 4.7$$

$$100\% \text{ DE GAS} = 15.5 \text{ Kg. DE AIRE POR Kg. DE GAS}$$

El peso específico del gas en estado líquido es de 0.5 por lo que necesitamos 7.75 kg. de aire por litro de gas. Un litro de aire para 21.1 °C y al nivel del mar pesa 0.001293 kg..

Ahora tenemos que un litro = 1000 cm³

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ cm}^3, \text{ por lo tanto}$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}$$

si: 1 litro pesa 0.001293 kg (peso de un litro de aire)

1000 litros pesaran $1000 * 0.001293 = 1.293 \text{ kg.}$

por lo tanto:

$$1 \text{ m}^3 = 1.293 \text{ Kg.}$$

Ahora:

$$1 \text{ m} = 3.28 \text{ pies}$$

$$1 \text{ m}^3 = 35.5 \text{ pies}^3$$

El aire teórico necesario en pies cúbicos es:

$$At = 7.75 * 35.5 = 275 \text{ ft}^3.$$

$$275 \text{ ft}^3. = 7.75 \text{ m}^3$$

Se requieren 7.75 m³ (275 ft³) por litro de gas

2.4 CALCULO DE CHIMENEA

Los hornos que son calentados por gas o por aceite no necesitan chimeneas, sino solamente canales de humos cortos, en los que se refiere a su funcionamiento. Los productos de combustión se descargan por los canales de humo cortos en el lugar de trabajo. Si no se desea su presencia, se puede disponer una campana o recogedor con una salida a través del techo. Debe tomarse en cuenta que debe existir una ligera presión en el horno y que en el trabajo de los hornos de calentamiento la chimenea no tiene otra función que la de evacuar los productos de combustión. Solamente se necesita una fracción muy pequeña de su capacidad productora de tiro. En consecuencia, la chimenea puede ser de cualquier altura, mientras sea lo suficientemente alta para atravesar el techo y elevarse por encima de los edificios de los alrededores para evitar los tiros "hacia atrás" o remolinos en su interior. La necesidad de sacar los productos de combustión por encima de los edificios circundantes hace que las chimeneas sean excesivamente largas en la mayoría de los casos; en consecuencia, se provee un tiro excesivo. empleándose un registro para contrarrestar este efecto. En la mayoría de los

hornos las chimeneas no solamente son excesivas largas, sino que son excesivamente amplias.

En los casos en que sea necesario calcular la chimenea, el método de cálculo debe variar necesariamente con las condiciones locales. Puede estar colocada la chimenea a cierta distancia del horno; puede servir para varios hornos; pueden existir canales de humos ascendentes y descendentes; también puede disponerse una caldera de recuperación en el canal de humos, o pueden existir otras variantes.

DEFINICION DE TIRO

Una columna de aire caliente pesa menos que una columna de aire frío de igual altura. La diferencia en peso produce una diferencia de presiones que se conoce como tiro y que se expresa en milímetros de agua. El tiro es proporcional a la altura de la columna y a la diferencia de densidad entre el aire caliente y el frío.

EL CAUDAL DE AIRE Y GASES DE COMBUSTION

A medida que aumentemos la abertura de la entrada

de aire la depresión (baja presión) será menor, y a medida que disminuyamos dicha abertura, la depresión originada por la potencia y caudal del ventilador será mayor. Es lógico que la cantidad de aire que entre será la que entre por el ducto, pero a medida que aumentemos la potencia y el caudal del ventilador, aumentará la depresión en el ducto.

también se cierto que no existe una relación exacta, entre el caudal que penetra en el horno, y el caudal que en metros cúbicos sale por el ventilador o chimenea, porque, el volumen de los gases aumenta con la temperatura alcanzada.

Cuando hablamos de hornos pequeños, generalmente pensamos en aquellos en los cuales la caída de presión del aire y de los gases através de ellos es pequeña. Para estos casos el empleo de una chimenea produce suficiente tiro como para inducir una entrada de aire y para extraer los gases productos de la combustión.

CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO

En casi todas las plantas industriales y aun fuera

de ellas, es necesario sacar gases o vapores de algún recinto, ya sea por circulación normal o forzada. La circulación normal se produce por diferencia de presiones y temperaturas entre masas de gases. La circulación forzada se produce por medio de ventiladores o compresores.

Como el peso específico del aire frío es mayor que el de los gases calientes, se obtiene una diferencia de presiones positiva que suministra aire y expulsa los gases. A esta diferencia de presiones se llama el tiro natural teórico, que en la práctica no se alcanza nunca debido a la fricción que siempre hay en la chimenea y en las paredes del horno.

Debido a la fricción el tiro que se alcanza no es el real o el calculado. La reducción es de hasta un 15% de pérdida. La pérdida de el tiro por fricción depende de la velocidad del flujo de los gases a través de la chimenea. Si usamos una chimenea de diámetro pequeño, entonces la velocidad es mayor y las pérdidas también. Si usamos una chimenea de sección grande, nos cuesta más su construcción. Por lo tanto se debe llegar a una relación entre los dos factores mencionados. Estos factores están ligados directamente con la

velocidad adecuada para la evacuación de los gases. Experimentos y observaciones, así como la práctica demostró que la velocidad más adecuada es entre 7.62 a 9.144 m/s (25 a 30 ft/s).

DETERMINACION DE LA SECCION DE LA CHIMENEA

Para nuestro cálculo, haremos las siguientes asunciones:

- 1.- Se calculará solamente en base al butano por tener el 93% de la composición del gas.
- 2.- Se considerará un 10% de exceso de aire.
- 3.- La temperatura promedio de los gases será 1316 °C (2400 °F).
- 4.- La velocidad de los gases será de 9.144 m/s (30 ft/s).

Cálculo de las lbm aire/lbm combustible:

La fórmula del butano es:



$$\frac{13 \text{ moles } O_2 \times 2 \text{ moles } C_4H_{10} \times 416 \text{ lbm } O_2}{2 \text{ moles } C_4H_{10} \times 58 \text{ lbm } C_4H_{10}} \times \frac{4.31 \text{ lbm aire} \times 1.10}{1 \text{ lbm } O_2}$$

Luego la cantidad de lbm aire/lbm combustible será:

$$\lambda = 34 \text{ lbm aire/lbm combustible}$$

La cantidad de productos de combustión será:

$$34 \text{ lbm aire/lbm combustible} + 1 = 35 \frac{\text{lbm producto}}{\text{lbm C}_4\text{H}_{10}}$$

Cálculo de la masa y densidad de los productos:

$$m_p = 35 \frac{\text{lbm producto}}{\text{lbm C}_4\text{H}_{10}} \times 14 \frac{\text{lbm C}_4\text{H}_{10}}{\text{hora}} \times 490 \frac{\text{lbm producto}}{\text{hora}}$$

$$\text{masa de los productos} = 490 \frac{\text{lbm producto}}{\text{hora}}$$

$$\text{densidad de los productos} = \frac{P_p}{R \cdot T_p}$$

$$\text{densidad} = 0.22312 \frac{\text{kgm}}{\text{m}^3}$$

$$\text{densidad de los productos} = 0.22312 \frac{\text{kgm}}{\text{m}^3}$$

Cálculo del área de la chimenea:

$$A = \frac{\text{masa de los gases}}{\text{densidad de los gases} \cdot \text{velocidad de los gases}}$$

$$A = 0.000286 \text{ m}^2$$

$$0.000286 \text{ m}^2 \times \frac{1 \text{ cm}^2}{10000 \text{ m}^2} = 302.86 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area} = 302.86 \text{ cm}^2$$

$$\text{Lado} = \sqrt{302.86} = 17.40 \text{ cm}$$

Si la chimenea hubiera sido de sección cuadrada, cada lado mediría $L = 17.40 \text{ cm}$. Como se decidió que fuera de sección rectangular, cada uno de los lados medirían $L1 = 17.40 \text{ cm}$ y $L2 = 13.40 \text{ cm}$.

Estas medidas fueran aplicables si se tratara de un horno cerrado completamente, como el horno, objeto del presente trabajo no lo es, porque presenta lugares por donde se escaparían los gases, como son la tapa que no sella bien y el crisol que tiene una fuga con respecto a agujero por donde se lo pone, (especialmente cuando está funcionando, porque la dilatación térmica hace que estos lugares se agranden), se decidió hacer la sección de la chimenea un poco mas pequeña y de esta manera, ayudar a que los gases no desfoquen con tanta facilidad y, lograr que estos permanezcan más tiempo dentro del horno.

Es así que se decidió acortar las medidas y hacer la sección de la chimenea de las siguientes dimensiones: $L1 = 20.32$ cm y $L2 = 10.16$ cm.

ALTURA DE LA CHIMENEA

Como ya se explico al comienzo, cuando se trabaja en un horno que usa gas como combustible no es necesario una chimenea, sino un canal de humos capaz de poder sacar todos los gases, producto de la combustion, del lugar de trabajo y en lo posible por encima del techo de las viviendas cercanas al

lugar de trabajo.

Como el aire de alimentación es introducido por medio de un soplador y el gas entra a presión, (producto de la presión en la que se encuentra en el recipiente) dentro del horno existe una presión positiva, lo que hace que los gases salgan libremente y sin necesidad de aplicar un ventilador o lograr que el tiro se el suficiente para que los gases salgan con libertad.

Se estudiaron varias alternativas con el objeto de tratar de que los gases permanezcan más tiempo dentro del horno, una de ellas fue la de colocar una lengüeta a la salida del horno, al principio de la chimenea, esta alternativa no es válida ya que al tener presión positiva dentro del horno, los gases salen ayudados por esa presión, entonces al impedir la salida, estos buscarán por donde salir y podría ser por la tapa o por los agujeros donde están ubicados los quemadores. La experiencia dice que las llamas saldrán por los agujeros de los quemadores, esta experiencia fue vivida personalmente por el Ing. José Pacheco Mosquera, miembro del tribunal de sustentación de este trabajo, en un horno a gas en el taller

Termotratamientos.

La alternativa que se tomó fue la de hacer cambios bruscos en la dirección de la chimenea, con el objeto de crear turbulencia y así impedir que los gases salgan con facilidad y permanezcan más tiempo dentro del horno. Las medidas y forma de la chimenea se puede apreciar en la fig. # 3.

PERDIDA DE CALOR EN LA CHIMENEA

T_1 = temperatura que tienen los humos en el conducto = 1316 °C.

T_2 = temperatura ambiente = 28 °C.

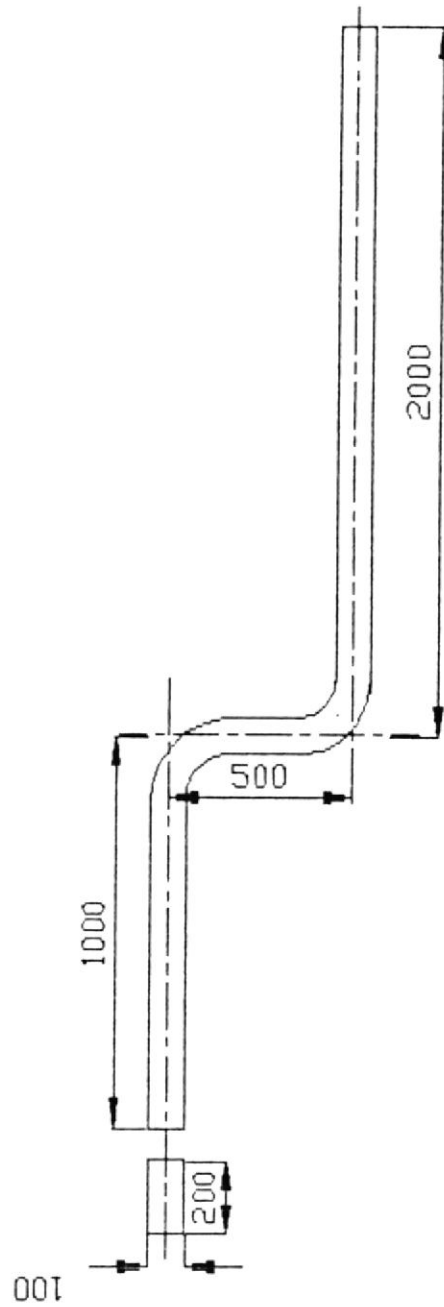
C_f = calor específico medio de los humos entre las temperaturas T_1 y T_2 = 0.7894 kcal/kg.


F_p = peso en kg. de los humos producidos por un kg. de combustible = 43.225 kg.

D = el peso en kg. del combustible consumido en una hora = 6.35 kg.

$$Q = F_p * C_f * (T_1 - T_2) * D$$

$$Q = 279075.5005 \text{ kcal/h}$$



	Peso	Material	
	Fecha	Nombre	ESCALA
Dibujo		LIN CHIANG	1:20
Revisa			
Compraba			
ESPOL			

2.5 CALCULO DE OPERACION

Puesto que la cantidad de calor que puede liberarse a temperaturas suficientemente elevadas es amplia en los hornos industriales, el problema de calcular la capacidad del horno puede estudiarse sobre la base de la transmisión del calor a la carga y de la igualación de temperatura dentro de la misma.

SELECCION DEL SOPLADOR

Asunciones:

- 1.- Peso específico del aire = $\delta_a = 1.1718 \text{ kgf/m}^3$
- 2.- Cabezal total = $h = 38.1 \text{ mm H}_2\text{O}$
- 3.- Cabezal estático = $h = 25.4 \text{ mm H}_2\text{O}$
- 4.- Peso específico del agua = $\delta_w = 1000 \text{ kgf/m}^3$

Cabezal de aire estático será:

$$h_{ae} = \frac{h \cdot \delta_w}{\delta_a}$$

$$h_{ae} = 21.7109 \text{ m de aire}$$

El cabezal total será:

$$h_{at} = 32.0567 \text{ m de aire}$$

Por lo tanto :

$$h_{av} = 32.0567 - 21.7109 = 10.85698 \text{ m de aire}$$

La velocidad del aire en el ducto será:

$$V_a = \sqrt{2 * q * h_{av}}$$

$$V_a = 14.59 \text{ m/s}$$

Area del ducto es:

$$A = (d^2 \div 4) * \pi = [(5.08 \text{ cm})^2 \div 4] * 3.14$$

$$A = 20.26 \text{ cm}^2 = 0.022 \text{ ft}^2$$

Caudal del aire es:

$$q = V * A$$

$$q = 67.66 \text{ l/min}$$

$$W_a = \rho_a * q$$

$$W_a = 4.5742 \text{ lbf/min}$$

La potencia del soplador será:

$$\text{HPA} = \frac{h_t * W_a}{3300}$$

$$\text{HPA} = 0.02 \text{ HP}$$

La potencia del soplador sale muy baja porque el diámetro de la tubería es muy pequeño, y en consecuencia el caudal también lo es.

Se decidió comprar un soplador de $\frac{1}{4}$ HP, de 1200 rpm.

PORCENTAJE DE CALOR UTIL

Para este calculo, haremos las siguientes consideraciones:

- 1.- El combustible a combustionarse es butano comercial.
- 2.- El gas y aire están a temperatura ambiente.
- 3.- La combustion es con un exceso del 10% de aire.
- 4.- Los gases salen del horno a 1316 °C.
- 5.- La combustion arrojará como productos 1% de CO y 1% de H.
- 6.- Todos los datos son extraídos de la fig. # 119 pag. # 171 del libro de W. Trinks. Volumen I.

* Calor de los productos de la combustion perfecta
 $C = 15237 \text{ kcal/m}^3$.

† Calor en el aire necesario para la combustion defecta
 $C = 13248 \text{ kcal/m}^3$.

* El 10% de exceso de aire con 1% CO y 1% H tiene 1873 kcal.

El calor de los gases de combustion es :

$$15237 + 1873 = 17110 \text{ kcal/m}^3.$$

17110 kcal/m son extraídos como calor sensible en los productos de combustion.

* La potencia calorífica superior es 28398 kcal/m³.

* La potencia calorífica inferior es 26119 kcal/m³.

El calor latente en el vapor de agua producido será:

$$28398 - 26119 = 2279 \text{ kcal/m}^3.$$

$$\text{Entonces: } \frac{17119 + 2279}{28398} = 0.6827 \approx 0.7$$

Lo que implica que el 70% del calor total es arrastrado por los productos de combustión y solamente 30% queda en el horno.

CALOR TRANSMITIDO A LA CARGA

Temperatura de los gases = 1316 °C.

temperatura de la carga = 872 °C.

Relación de superficies, R ≈ 0.6

Espesor de la capa gaseosa, s = 0.304

Segun la tabla # 5 pag. # 60 del libro de W. Trinks; interpolando tenemos:

$$\frac{0.5 - 0.7}{152.3 - 132.2} = \frac{0.6 - 0.7}{x - 132.2}$$

$$-0.01 = -0.2x + 26.44 \quad \text{--- } x = 142.5$$

El coeficiente de transmisión del calor es:

$$R1 = 142.25$$

$$T = 1318 - 872 = 444 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

La transmisión del calor a cada metro cuadrado de superficie es:

$$R2 = R1 * T = 63159$$

La cantidad de calor transmitida a la carga será:

$$Q = \pi * d * k2 * l$$

$$Q = 12919.58 \text{ kcal/h}$$

CALCULO DEL CALOR TOTAL SUMINISTRADO AL HORNO

El calor total suministrado al horno es la suma de los valores Q1, Q2, Q3.

Se desprecia el calor que se pierde por radiación por la carga, ya que, para evitar esta pérdida se le pone una capa de grafito encima de la sal fundida; siendo:

Q1 = calor que se pierde por las paredes.

Q2 = calor que se pierde por la chimenea.

Q3 = calor transmitido a la carga.

$$Q1 = 4507.11 \text{ kcal/h}$$

$$Q_2 = 279075.5005 \text{ kcal/h}$$

$$Q_3 = 12910.58 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_{\text{total}} = 4503.11 + 279075.5005 + 12910.58$$

$$Q_{\text{total}} = 296489.1905 \text{ kcal/hora}$$

CALCULO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

$$\text{Consumo} = \frac{Q_{\text{total}}}{\text{Poder calorífico del gas}}$$

$$\text{Consumo} = \frac{296489.1905 \text{ kcal/h}}{21321.99 \text{ kcal/kg}}$$

$$\text{Consumo} = 13.59 \text{ kg/h.}$$

Este consumo se da cuando el horno está trabajando a su máxima capacidad, es decir con el crisol totalmente lleno de sales, con la válvula de gas totalmente abierta y las lengüetas de entrada de aire al soplador de la misma manera. Cuando se hicieron las pruebas se trabajó con 2 kg de cloruro de potasio y 4 kg de cloruro de sodio, y las válvula de gas abierta a la mitad y el consumo fue: 14 lb/h \approx 6.36 kg/h

2.6 MEMORIAS DE CONSTRUCCION

✘ Para la fundición del concreto aislante en las paredes del horno, se hizo un "teido" de varillas para asegurar que este tenga una mayor rigidez y no vaya a perder consistencia con el tiempo y uso, así como desbaratar cuando se saque el molde.

✘ Cuando se empezó a echar el concreto dentro del molde este empezó a deformarse. Para evitar esto se le puso en la parte superior del mismo unos pedazos de plumafón. El objetivo era que las paredes no se unieran y conservaran las misma distancia. Una vez fundido el concreto, se quemó el plumafón y se llenó los agujeros con concreto.

✘ Para realizar las mediciones de temperatura, se utilizó una termocupla tipo "k". Las termocuplas, consisten en dos alambres distintos pero que son metalúrgicamente homogéneos. Estos alambres se unen en su parte final, llamada junta caliente. La otra punta es conectada a un alambre o cable de cobre, el cual está conectado al instrumento de medición. esta junta es llamada junta fría. La señal de eléctrica de salida es milivoltios y es proporcional a la diferencia de temperatura entre la medición de junta "caliente" con la junta

"fría". Esta señal eléctrica se produce cuando se juntan dos metales diferentes, estos generan una fuerza electromotriz, la cual es, principalmente función de la temperatura de la junta. En vista de las condiciones a la que este tipo de termocupla puede trabajar, así como de su margen de error las mediciones tomadas durante las pruebas serán de una exactitud apreciable, pues la temperatura de trabajo es por encima de los 850 °C.

✂ Para la construcción de la tapa del horno, que a su vez será donde descanse el crisol, fue hecha de una plancha de acero de espesor $(e) e = 4 \text{ mm}$. Como las medidas de la plancha eran ancho $(a) a = 1290 \text{ mm}$ y longitud $(l) l = 2440 \text{ mm}$, se procedió a cortar tres anillos y dos medios anillos de tal manera que al unirlos formen un nuevo anillo. El corte de esta plancha se realizó con una cortadora de plasma. Con el objeto de formar una sola pieza, se colocó uno encima del otro y se procedió a soldarlos, primeramente, por la parte exterior e inferior. Luego se le hizo unos huecos de diámetro $(d) d = 19.05 \text{ mm}$, en diferentes lugares de la tapa, atravesando tres de ellas y llegando hasta la mitad de la cuarta, última. Estos huecos se rellenaron después con soldadura 6010 con un

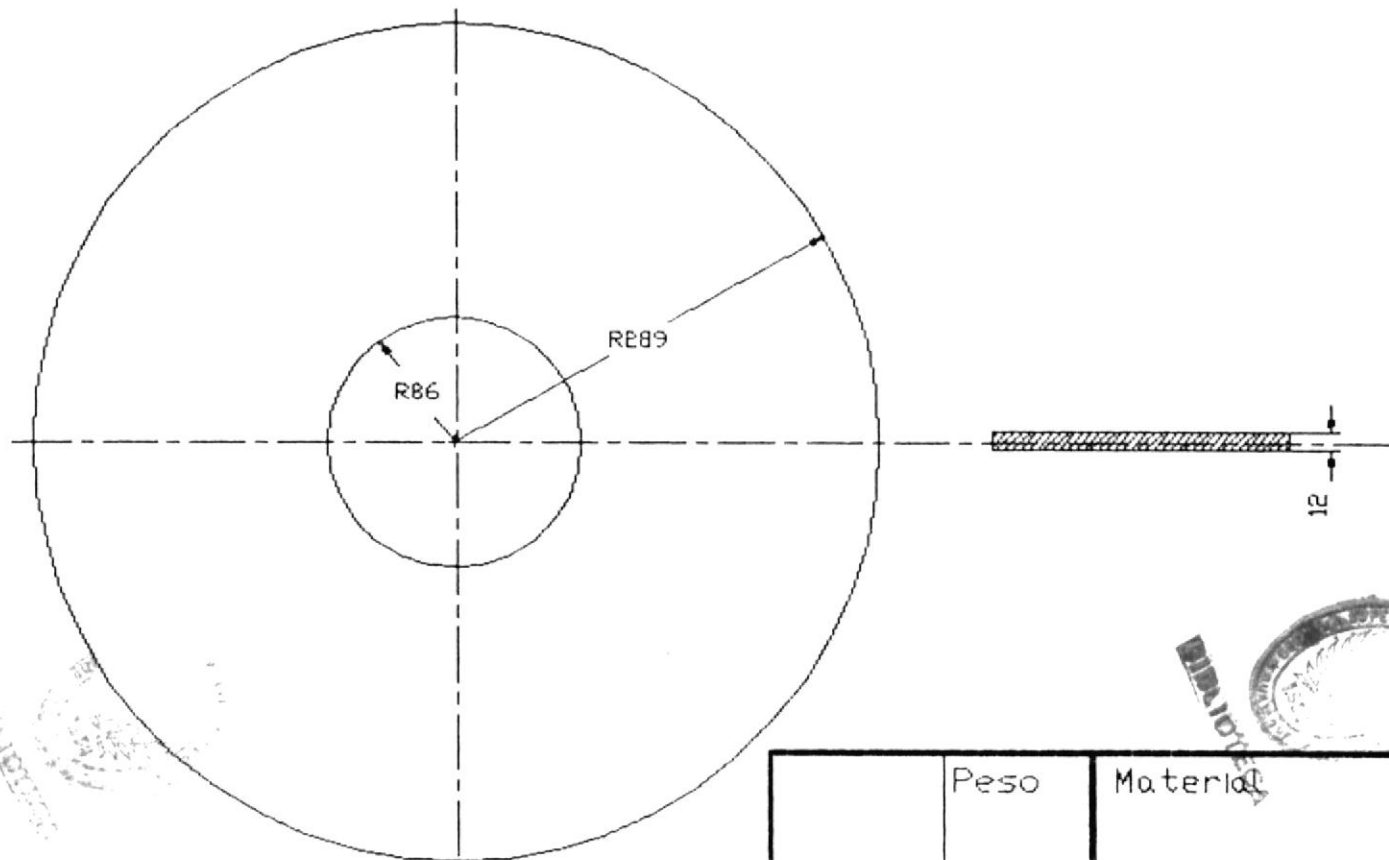
núcleo de diámetro (d) $d = 6.35$ mm. Durante el proceso de relleno se utilizó un amperaje (A) $A = 120$ amp. El relleno de estos huecos se hicieron con la finalidad de que la placa trabajara como una sola pieza, tal como lo muestra la figura # 4.

✖ A la entrada de los quemadores, donde queda la cámara de combustión, se la hizo completamente de concreto aislante para evitar una pérdida excesiva de calor en esta parte. La cámara tenía forma de cubo.

✖ A la salida del horno, donde empieza la chimenea, ésta se la recubrió de concreto para evitar que se caliente demasiado.

✖ La conexión de gas se hizo de manquera de caucho de presión y fue sujeta en cada unión con abrazaderas.

✖ La tubería de alimentación de aire se hizo de hierro negro, de un diámetro de 50 mm y un espesor de pared de 2 mm, la distribución para cada uno de los quemadores, se hizo con una "Y" de hierro galvanizado, al igual que los codos a la entrada.



	Peso	Material	
	Fecha	Nombre	TAPA
Dibujo		LIN CHIANG	
Reviso			
Comento			
ESPOL			Escala 1:5

2.7 PRUEBAS

Se realizaron varias pruebas de eficiencia del horno:

⚡ Se quiso saber la rapidez de respuesta del horno. Con tal motivo se lo puso a funcionar a toda su capacidad, es decir, con la válvula de paso de gas y las lengüetas de control de succión de aire del soplador totalmente abiertas se registró las siguientes lecturas. Es de anotar que los parámetros medidos son: tiempo, temperatura de la pared interior del horno y la temperatura exterior de la pared de concreto aislante.

TIEMPO [min]	TEMP. INTERIOR [°C]	TEMP. EXTERIOR [°C]
5	170.8	28.0
10	338.5	28.0
15	587.7	105.5
20	740.1	190.1
25	930.6	236.6
30	1010.7	241.8

No se tomó en cuenta la temperatura exterior del horno porque esta no presentó cambios.

⚡ Cuando se trabajó en una prueba de tratamiento

termoquímico, es decir, ya en estado estable no se trabajó en el horno a toda su capacidad, sino que el crisol se llenó solamente con 2 kg de cloruro de potasio y 4 kg de cloruro de sodio, la llave de paso de gas abierta la mitad y las lengüetas de succión de aire del soplador de la misma manera, y se midió el consumo de gas y éste fue de 15 lb. La diferencia de temperatura entre la pared interna y externa del concreto aislante fue la misma, en estado estable (Temp. de carga 875 °C), que cuando se trabajaba a su máxima capacidad.

‡ Las variaciones de temperatura están ilustradas en las gráficas números: 18-19-20 del apéndice.

‡ Cuando se trabajó con las sales de calentamiento para hacer un temple, el objetivo era comprobar si hubo o no descarbonización del material.

‡ Al realizar la prueba de temple, la temperatura de las sales líquidas empezó a descender. Este descenso de temperatura se debió a que la pieza era muy grande para la cantidad de sal que había dentro del crisol, lo que significa que el baño de sal debe de ser lo suficientemente "grande" para evitar que la temperatura baje considerablemente, o en su

deferido la pieza a ser tratada debe de tener una relación con la cantidad de sal contenida dentro del crisol. Los resultados se detallan a continuación en el presente cuadro.

TIEMPO	TEMPERATURA DEL CRISOL
[min]	[°C]
5	881.6
10	871.4
15	857.2
20	846.7
25	837.3
30	826.1
35	820.9
40	817.4
45	815.5
50	815.3
55	820.8
60	830.1

Se tomó el tiempo en un intervalo tan pequeño porque no se tenía información de que tan rápido iba a ser el descenso de temperatura. Cuando la temperatura se estabilizó empezó a subir.

CAPITULO III

DISCUCION DE RESULTADOS

En el presente capítulo, se hará una prueba para demostrar la eficiencia y funcionalidad del horno, motivo del presente trabajo. Una vez realizada la prueba se evaluarán los resultados haciendo hincapié en: la masa de sal necesaria, la respuesta automática del horno para mantener la temperatura estable durante el proceso y la inercia del baño de sal con relación a cargas de metal a tratar.

3.1 ENSAYO DE CEMENTACION LIQUIDA

El objetivo del presente trabajo, es el diseño y construcción de un horno para tratamientos termoquímicos del acero. Con tal motivo, se estudió la posibilidad de hacer un ensayo de cementación líquida para evaluar el funcionamiento y facilidad de operación del horno. Pero existe una tesis de grado realizada por el Ing. Jackson Silva, cuyas copias reposan en las bibliotecas de la Facultad de Ing. Mecánica y General de la E.S.P.U.L., de tal manera que para mayor conocimiento acerca del proceso de cementación

liquida, se puede recurrir a ese trabajo. De tal manera que en lugar de hacer un ensayo con sales para cementación, se hará un ensayo con sales para calentamiento, y de esta manera hacer un proceso de temple para el acero.

Para realizar este trabajo se buscará una sal cuyo rango de trabajo esté entre 400 - 850 °C. Se decidió hacer una mezcla de sales; se utilizó cloruro de sodio (ClNa) y cloruro de potasio (ClK), en una mezcla del 50%.

Se calentó las sales hasta que estas se fundieran y llegaran al estado líquido, se la mantuvo a una temperatura de 850 °C, y se procedió a hacer el temple. El objetivo de esta práctica fue verificar si hubo o no descarbonización.

TECNOLOGIA DEL TRATAMIENTO TERMICO DEL ACERO

Por tratamiento térmico se comprende el cambio de estructura y, por lo tanto, el cambio de las propiedades de la aleación, que se consigue mediante el calentamiento hasta una determinada temperatura, exponiendo la aleación a esta temperatura durante cierto tiempo ; el enfriamiento

ulterior a una velocidad determinada.

Existen varios tipos de tratamiento térmico (recocido, normalización, temple, revenido), que en forma distinta cambian la estructura y las propiedades del acero y que se recomiendan en dependencia de las exigencias planteadas a los semiproductos (piezas fundidas, forjadas, laminadas, etc.) y a los artículos preparados.

El tratamiento térmico del acero es una operación muy importante en el ciclo tecnológico de preparación de muchas piezas. Solamente con ayuda del tratamiento térmico se pueden obtener altas propiedades mecánicas del acero que garantizan un trabajo normal de los elementos modernos de las máquinas y herramientas.

TEMPLE DEL ACERO

Se llama temple el calentamiento hasta una temperatura de 30 - 70° sobre A_{c1} ($T = 768^{\circ}\text{C}$) para los aceros hipoeutectoides o sobre A_{c1} ($T = 727^{\circ}\text{C}$) para los aceros hipereutectoides con un mantenimiento a esta para finalizar las

transformaciones de fase, y un enfriamiento ulterior con una velocidad más alta que la crítica.

El temple no es un tratamiento térmico final. Para disminuir la fragilidad y las tensiones que surgen con el temple y obtener las propiedades mecánicas requeridas, el acero después del temple es sometido a revenido.

CONDICION SUPERFICIAL

Cuando el acero se expone a una atmósfera de oxidación, debido a la presencia de vapor de agua o de oxígeno en el horno, se produce la oxidación y descarburización de las capas superficiales de acero y se forma una capa de óxido de hierro, llamada "escama". La oxidación conduce a pérdidas irrecuperables de metal, a un empeoramiento del estado de las capas superficiales y exige una limpieza ulterior. La descarburización disminuye la dureza, la resistencia al desgaste y a la fatiga. Los experimentos han mostrado que una capa delgada de escama tiene muy poco efecto en la rapidez real de enfriamiento, pero que una gruesa capa de escama (de 0.175 mm de profundidad) retarda la rapidez real de enfriamiento. Para proteger las

piezas contra la oxidación y descarbonización se emplea el calentamiento en sales fundidas, en medios gaseosos protectores y en vacío. Partes de escama también tienden a pelar la superficie cuando la pieza se transfiere del horno al tanque de temple, dando lugar así a una variación en la rapidez de enfriamiento en diferentes puntos de la superficie. Es necesario considerar la presencia de escamas sólo si la rapidez real de enfriamiento es muy próxima a la rapidez crítica de enfriamiento. Como la escama es más suave que el acero endurecido, resulta muy importante notar que habrá una tendencia de la escama a atascarse en la rueda del esmeril durante las operaciones de terminado.

En cualquier caso, la formación de escamas generalmente se evita en los tratamientos térmicos comerciales.

Muchos métodos se emplean en la industria a fin de minimizar la formación de escama. La selección del método depende de la parte que se trate térmicamente, del tipo de horno utilizado, de la disponibilidad de equipo y del costo.

RECIPIENTES CON SAL LIQUIDA

La parte que se tratará térmicamente puede inmersirse en un horno de sal líquida, que es neutral respecto al acero. La pieza, al estar completamente rodeada por la sal neutral líquida, no puede oxidarse para formar escamas.

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO DURANTE EL TEMPLE

Los medios refrigerantes, deben proporcionar una alta velocidad de enfriamiento a temperaturas de estabilidad mínima de la austenita (650-550 °C), para prevenir su descomposición en la mezcla ferrito-cementítica. Durante el temple, los aceros aleados deben ser enfriados rápidamente también en la zona de temperaturas de transformación intermedia, donde se observa el segundo mínimo de estabilidad de la austenita.

El objetivo de esta práctica es el de comprobar si la pieza a ser tratada va a sufrir decarburización, y si la cantidad de sal es lo suficiente para que la temperatura no baje al introducir la pieza.

3.2 EVALUACION DE RESULTADOS

El objetivo de este trabajo, es la construcción de un horno para tratamientos termoquímicos del acero. Dentro del temario de la presente tesis, consta en el punto 1.1 "ensayo de cementación líquida". El objetivo de este punto era el de escoger un tratamiento termoquímico para medir su eficiencia en lo referente a un proceso en particular. Como ya existe un trabajo, se tomó como referencia los resultados obtenidos en la tesis del Ing. Jackson Silva Fayo.

Los resultados obtenidos, en cuanto a la respuesta del horno se detallan en la sección 2.3, estos fueron muy halagadores puesto que se consiguió que la temperatura se eleve rápidamente y en consecuencia un calentamiento rápido del horno, mientras que la temperatura externa del mismo no presentó cambios significativos.

Un mayor tiempo de cementación favorece el enriquecimiento de la capa carbonó y el espesor de la capa cementada; pero el contenido de carbono acumulado en la superficie tiene un valor máximo igual al potencial del baño, pero es independiente

del tiempo de cementación.

Un aumento de la temperatura durante el proceso de cementación, ayuda a que la capa tenga más carbono, si la capa cementada es más rica en carbono esta aumentará en su dureza, siempre y cuando no tenga austenita retenida.

Cuando se trabaja a bajas temperaturas, la difusión del carbono hacia la pieza disminuye, esta disminución es considerable frente a la reducción de nitrógeno y la cantidad de este en el resultado final de la capa cementada. La cementación líquida no puede hacerse con temperaturas menores a los 850 °C, en cambio si se la realiza a una mayor temperatura, el espesor de la capa cementada podría aumentar.

Los resultados de las pruebas de cementación líquida, pueden apreciarse con mayor claridad en los gráficos que están en el apéndice. De la misma manera la respuesta del horno, los gradientes de temperaturas registrados y la pérdida de calor se registran en los gráficos que están en el apéndice.

A P E N D I C E S

APENDICE A

TABLAS EMPLEADAS PARA EN ANALISIS DEL DISEÑO Y SELECCION
DE MATERIALES USADOS EN LA CONTRUCCION

TABLA #1

ANALISIS QUIMICO DEL CONCRETO AISLANTE

SiO ₂	34.0	- 38.0 %
Al ₂ O ₃	29.0	- 42.0 %
Fe ₂ O ₃	3.0	- 4.0 %
CaO	13.5	- 17.0 %
NaO	0.3	- 1.0 %
LiO ₂	1.5	- 2.5 %
H ₂ O + H ₂ O	0.5	- 2.0 %

TABLA #2

CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL CONCRETO AISLANTE

TEMPERATURA [°C]	k [W/m °C]
205	0.38
405	0.41
650	0.44
800	0.46
1095	0.49

TABLA #3

PROPIEDADES FISICAS DEL CONCRETO AISLANTE

Máxima temperatura de trabajo.....	1370 °C
Módulo de ruptura a 1095 °C.....	0.6 - 1.4 MPa
Agua necesaria para la mezcla cada 100 lb.....	14.2 lt
Expansión lineal a 1095 °C.....	0.2 - 0.7 %

TABLA #4

TEMPERATURA DE LLAMA DE ALGUNOS GASES

Gas	TEMPERATURA DE LA LLAMA			
	CON OXIGENO		CON AIRE	
	°C	°F	°C	°F
Acetileno	3105	5620	2325	4215
Gas de ciudad	2540	4600	1985	3605
Gas natural	2705	4900	1875	3405
Propano	2635	4775	1925	3495

TABLA #5

PROPIEDADES DE LA TERMOCUPLA "K"

Rango de uso: -20 a 1370 °C

Límites de error: 0 a 275 °C ± 0.5 °C
 275 a 1260 °C ± 0.75%

10% CNNa AISI 1022

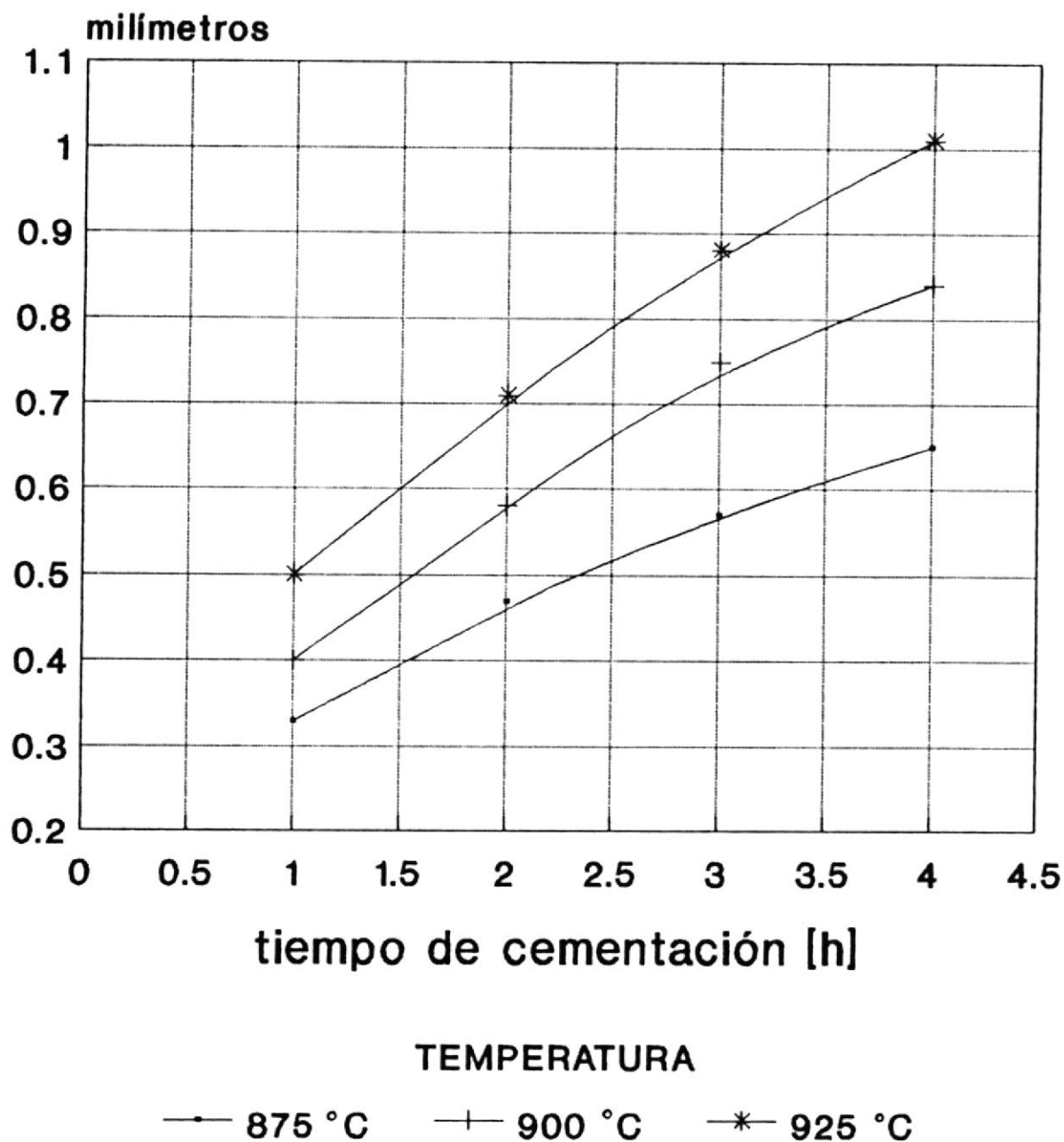


FIG. 6 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA PROFUNDIDAD DE CAPA EFECTIVA (50 HRC) EN UN ACERO AISI 1022

12% CNNa AISI 1022

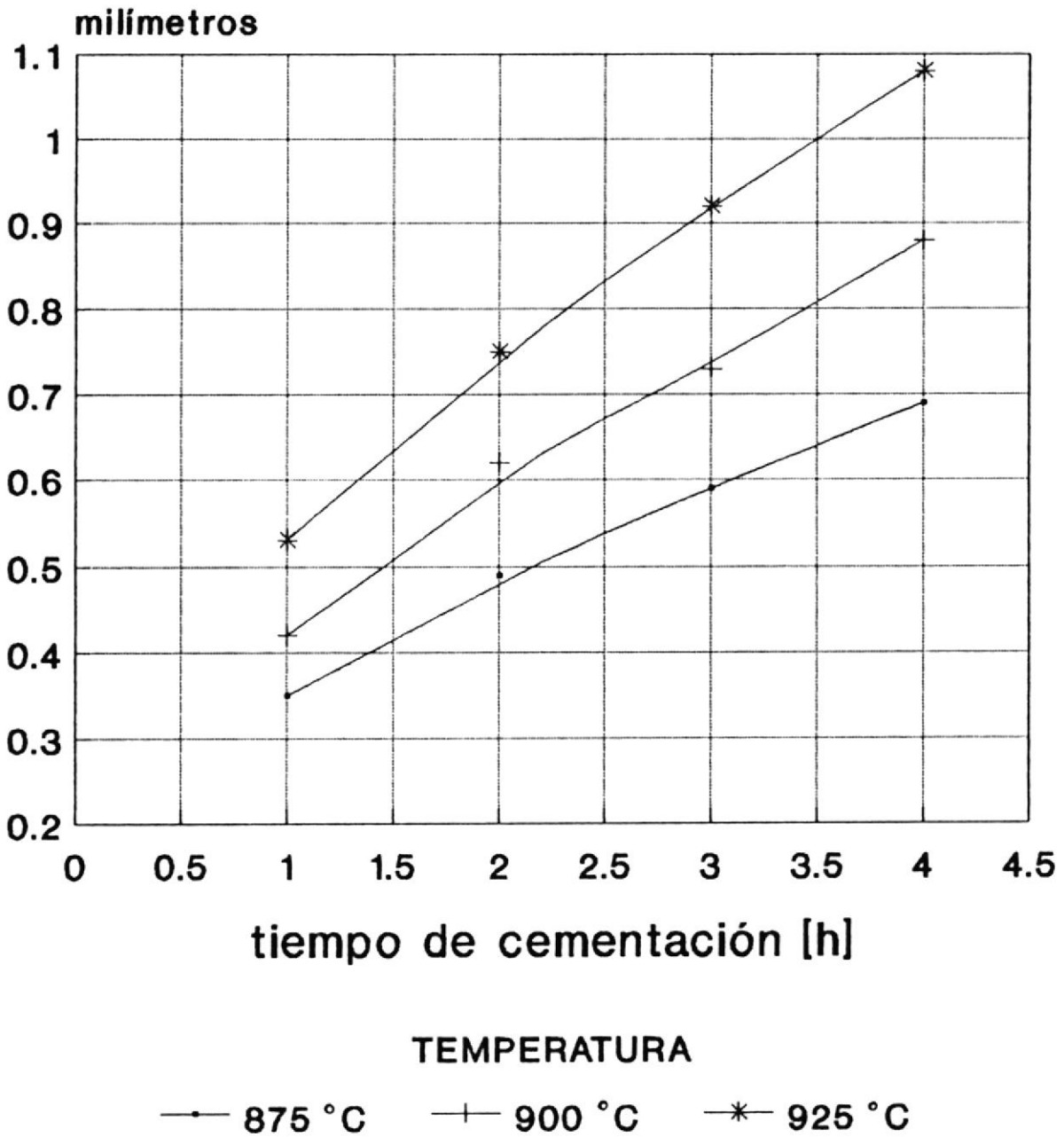


FIG. 7 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA PROFUNDIDAD DE LA CAPA EFECTIVA (50 HRC) EN UN ACERO AISI 1022

14% CNNa AISI 1022

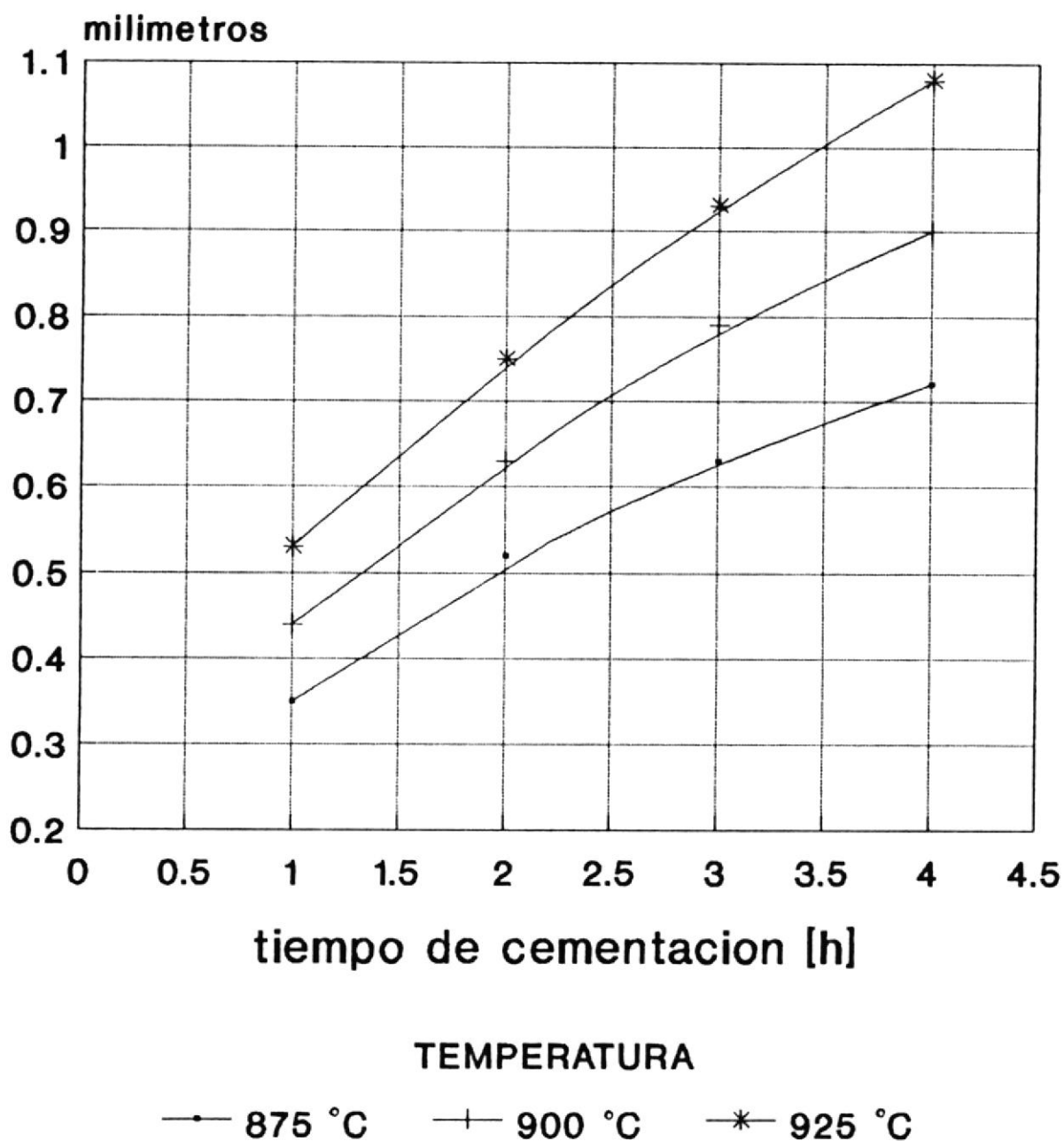
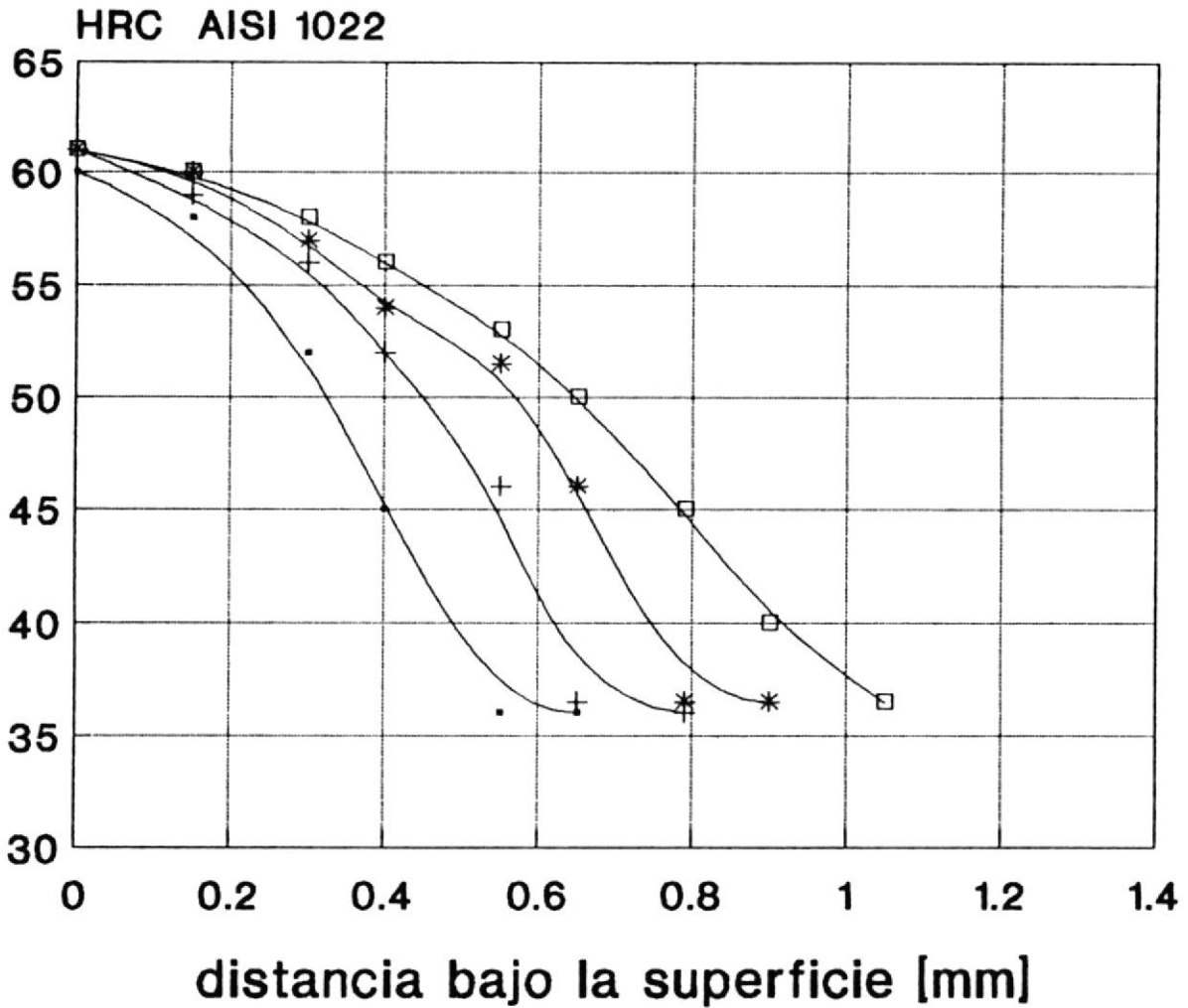


FIG 8 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA PROFUNDIDAD DE CAPA EFECTIVA (50 HRC) EN UN ACERO AISI 1022

875 °C 10% CNNa



TIEMPO DE EXPOSICION

—•— 1 HORA

—+— 2 HORAS

—*— 3 HORAS

—□— 4 HORAS

FIG. 9 EFECTO DEL TIEMPO EN EL GRADIENTE DE DUREZA EN UN ACERO 1022 CEMENTADO

900 °C 10% CNNa

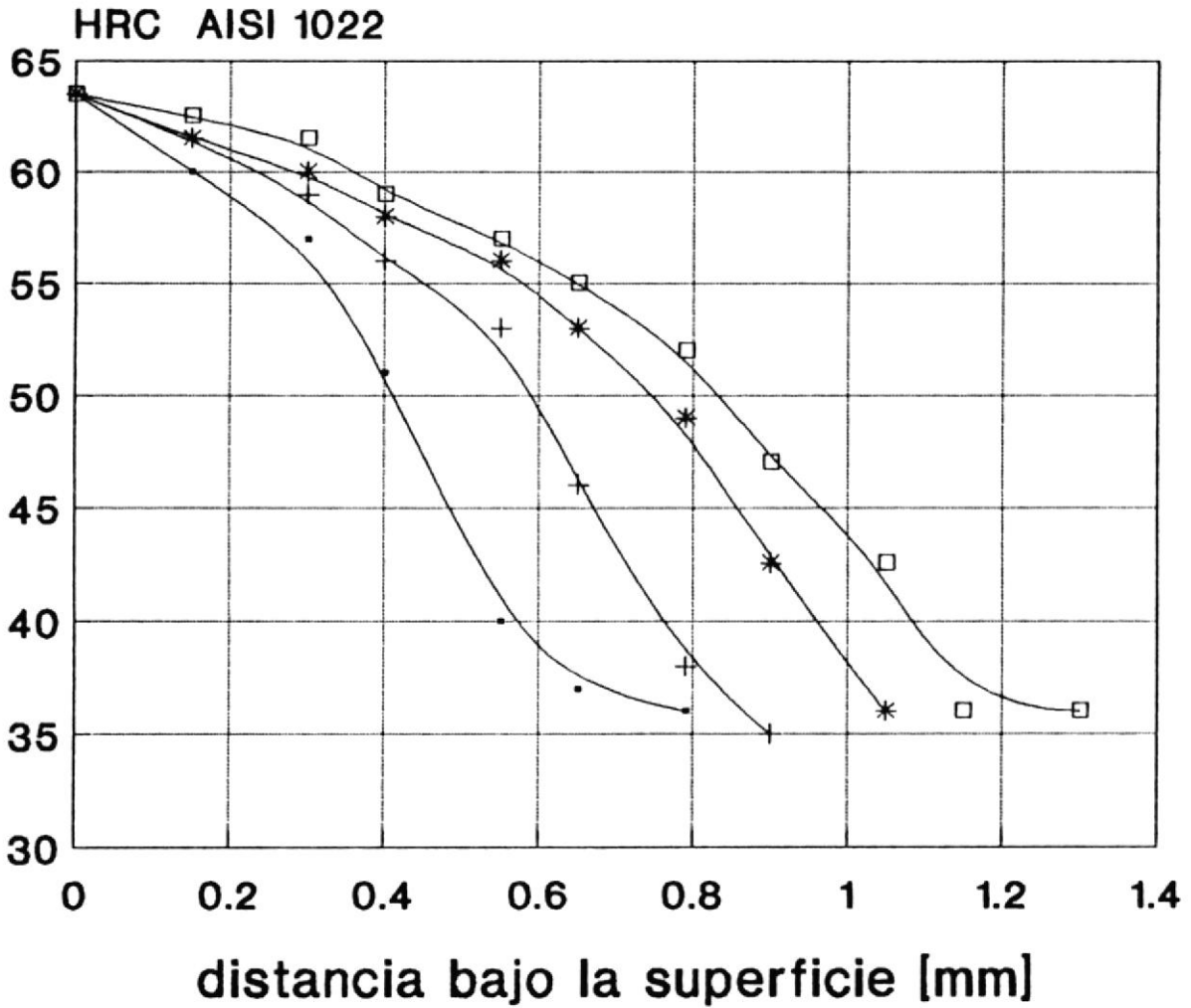
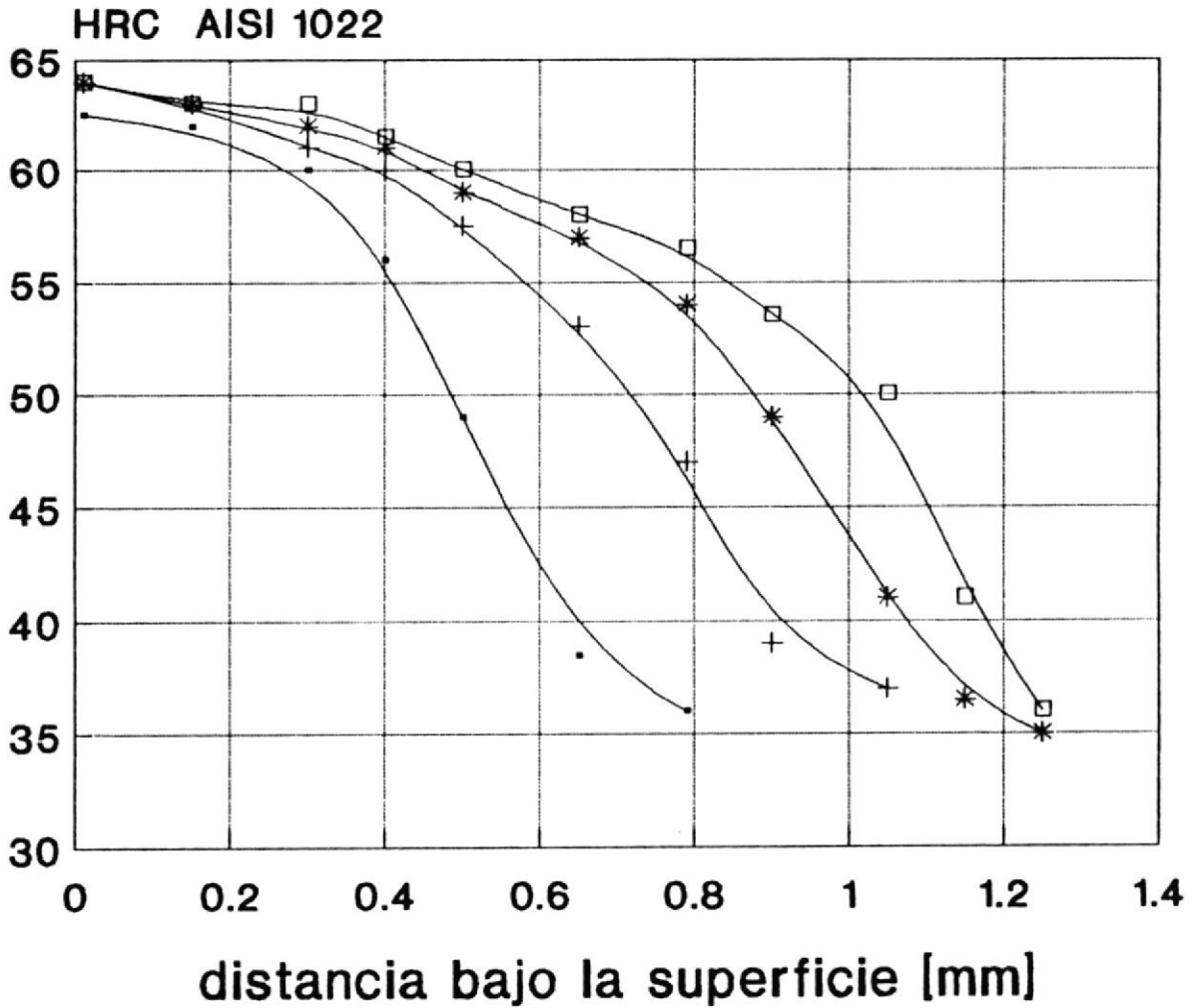


FIG. 10 EFECTO DEL TIEMPO EN EL GRADIENTE DE DUREZA EN UN ACERO 1022 CEMENTADO

925 °C 10% CNNa



TIEMPO DE EXPOSICION

—●— 1 HORA

—+— 2 HORAS

—*— 3 HORAS

—□— 4 HORAS

FIG. 11 EFECTO DEL TIEMPO EN EL GRADIENTE DE DUREZA EN UN ACERO 1022 CEMENTADO

875 °C 12% CNNa

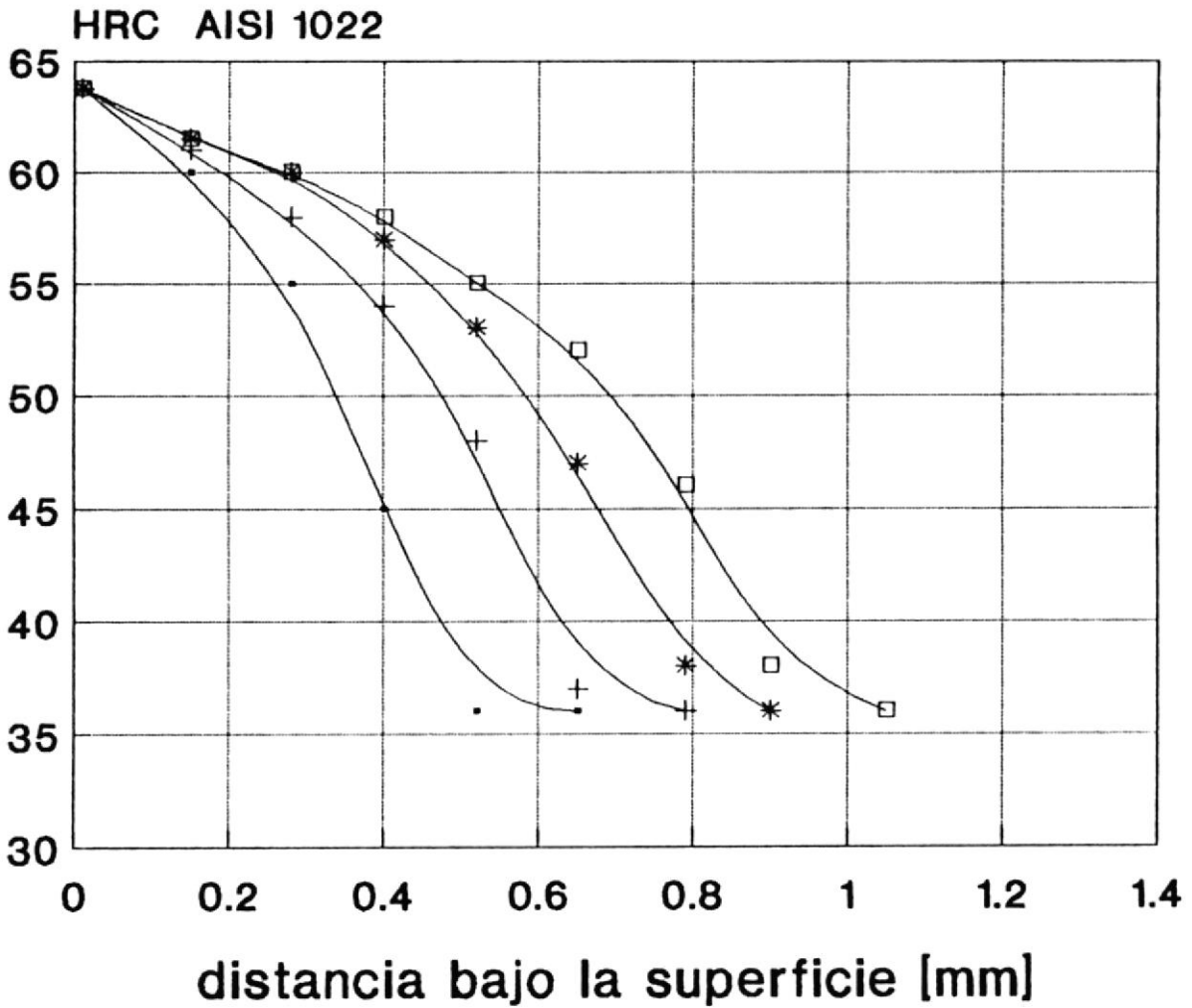


FIG.12 EFECTO DEL TIEMPO EN EL GRADIENTE DE DUREZA EN UN ACERO 1022 CEMENTADO

900 °C 12% CNNa

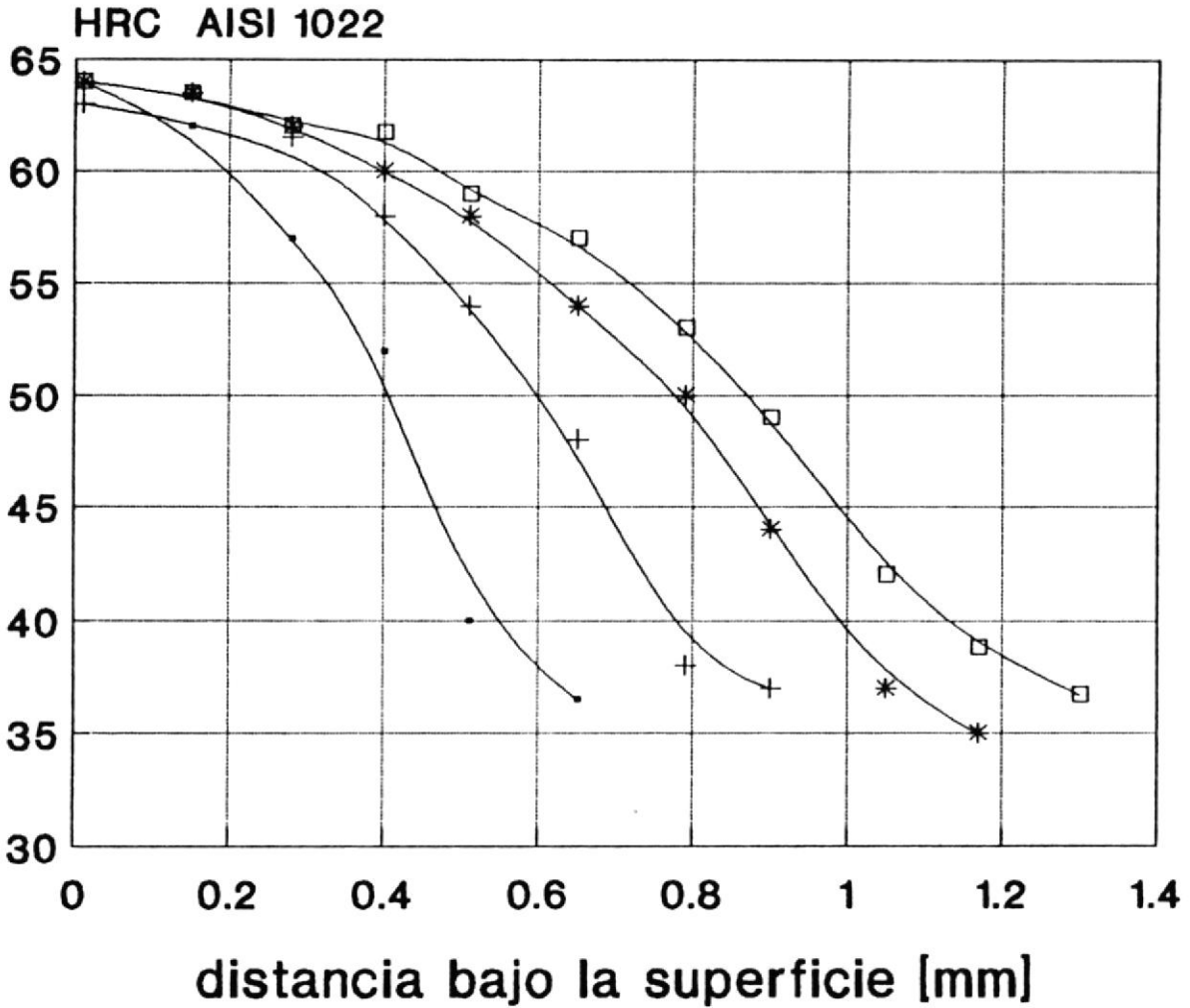
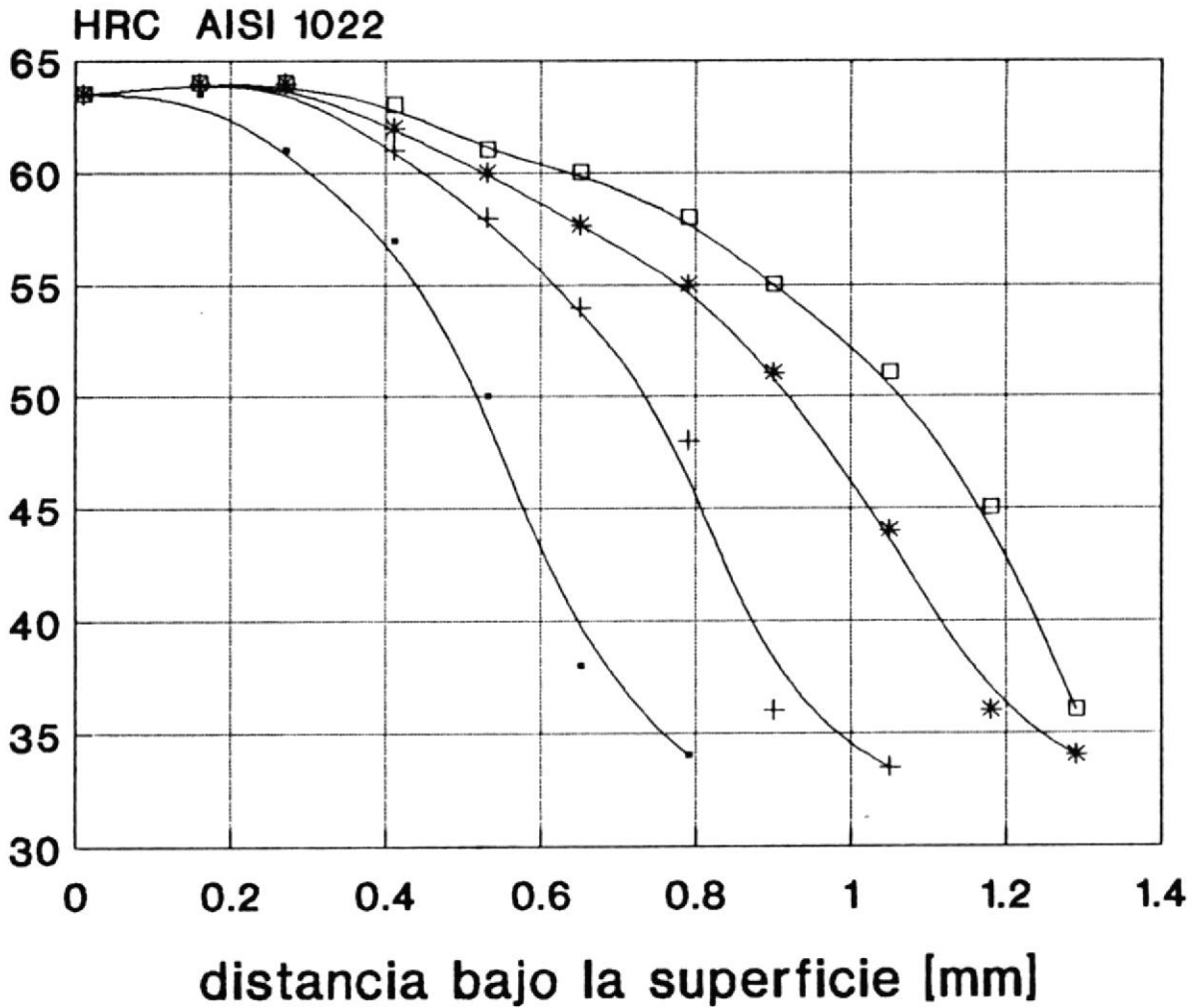


FIG. 13 EFECTO DEL TIEMPO EN EL GRADIENTE DE DUREZA EN UN ACERO 1022 CEMENTADO

925 °C 12% CNNa



TIEMPO DE EXPOSICION

—●— 1 HORA

—+— 2 HORAS

—*— 3 HORAS

—□— 4 HORAS

FIG. 14 EFECTO DEL TIEMPO EN EL GRADIENTE DE DUREZA EN UN ACERO 1022 CEMENTADO

875 °C 14% CNNa

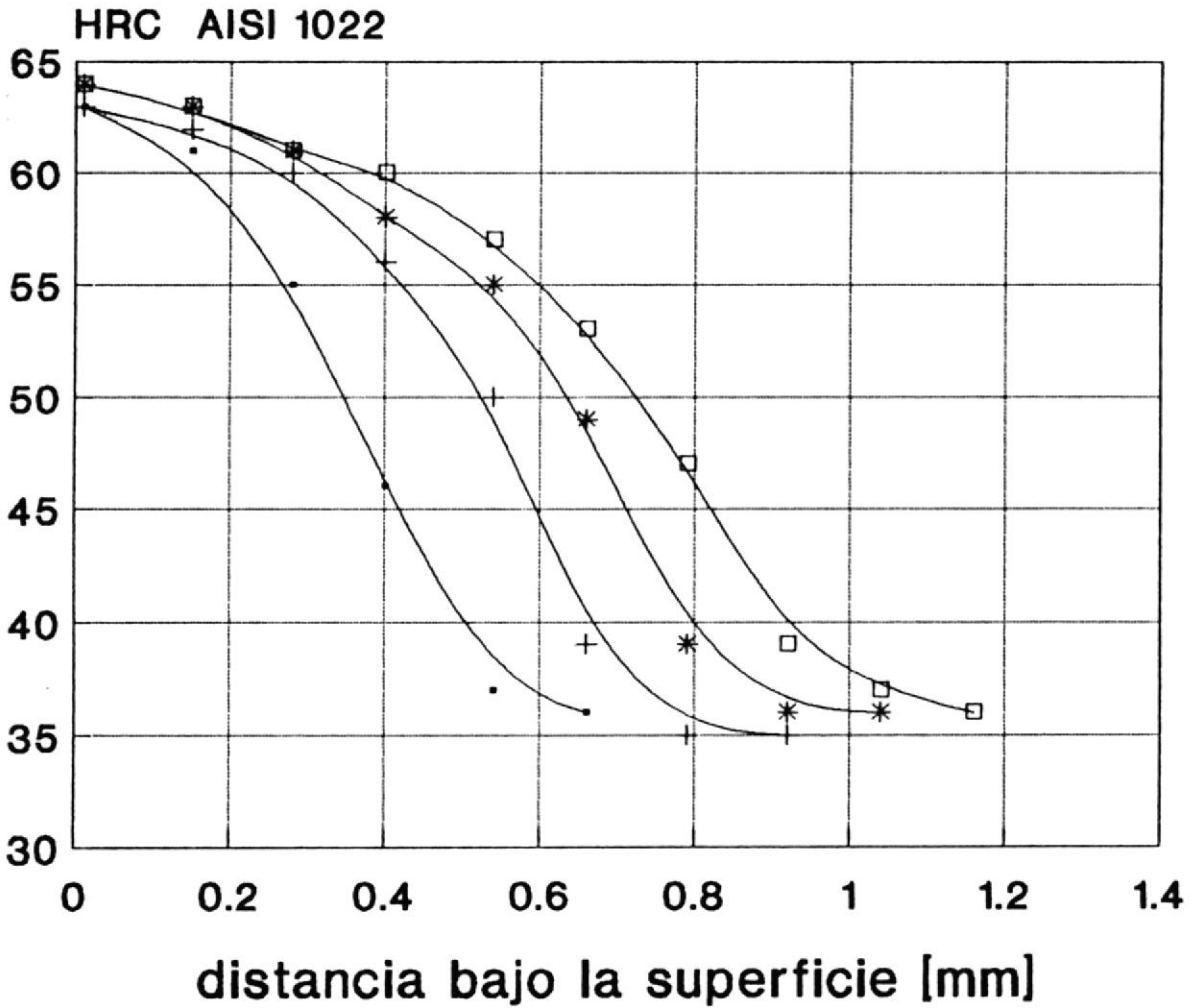
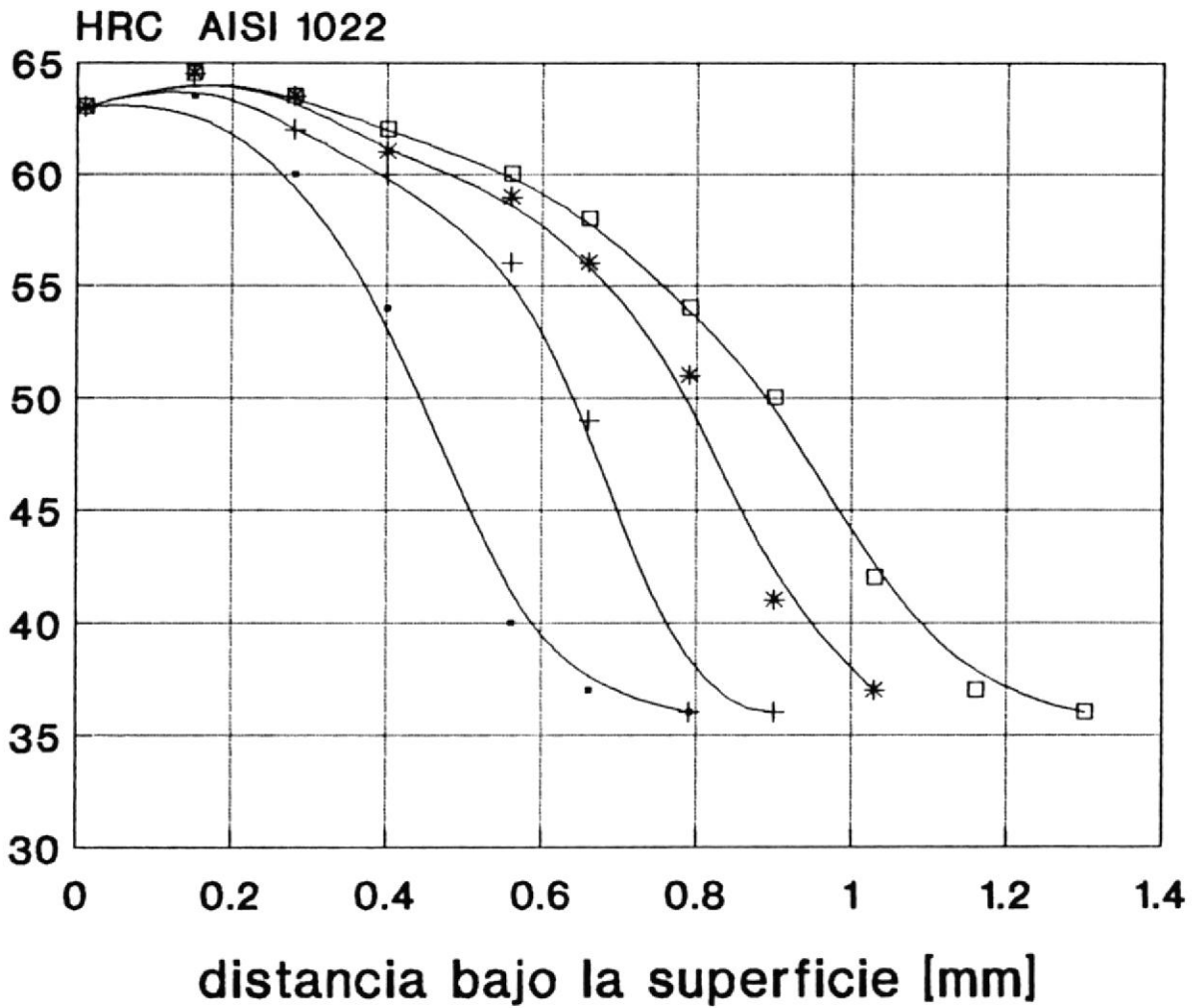


FIG. 15 EFECTO DEL TIEMPO EN EL GRADIENTE DE DUREZA EN UN ACERO 1022 CEMENTADO

900 °C 14% CNNa



TIEMPO DE EXPOSICION

- 1 HORA
- +— 2 HORAS
- *— 3 HORAS
- 4 HORAS

FIG. 16 EFECTO DEL TIEMPO EN EL GRADIENTE DE DUREZA EN UN ACERO 1022 CEMENTADO

925 °C 14% CNNa

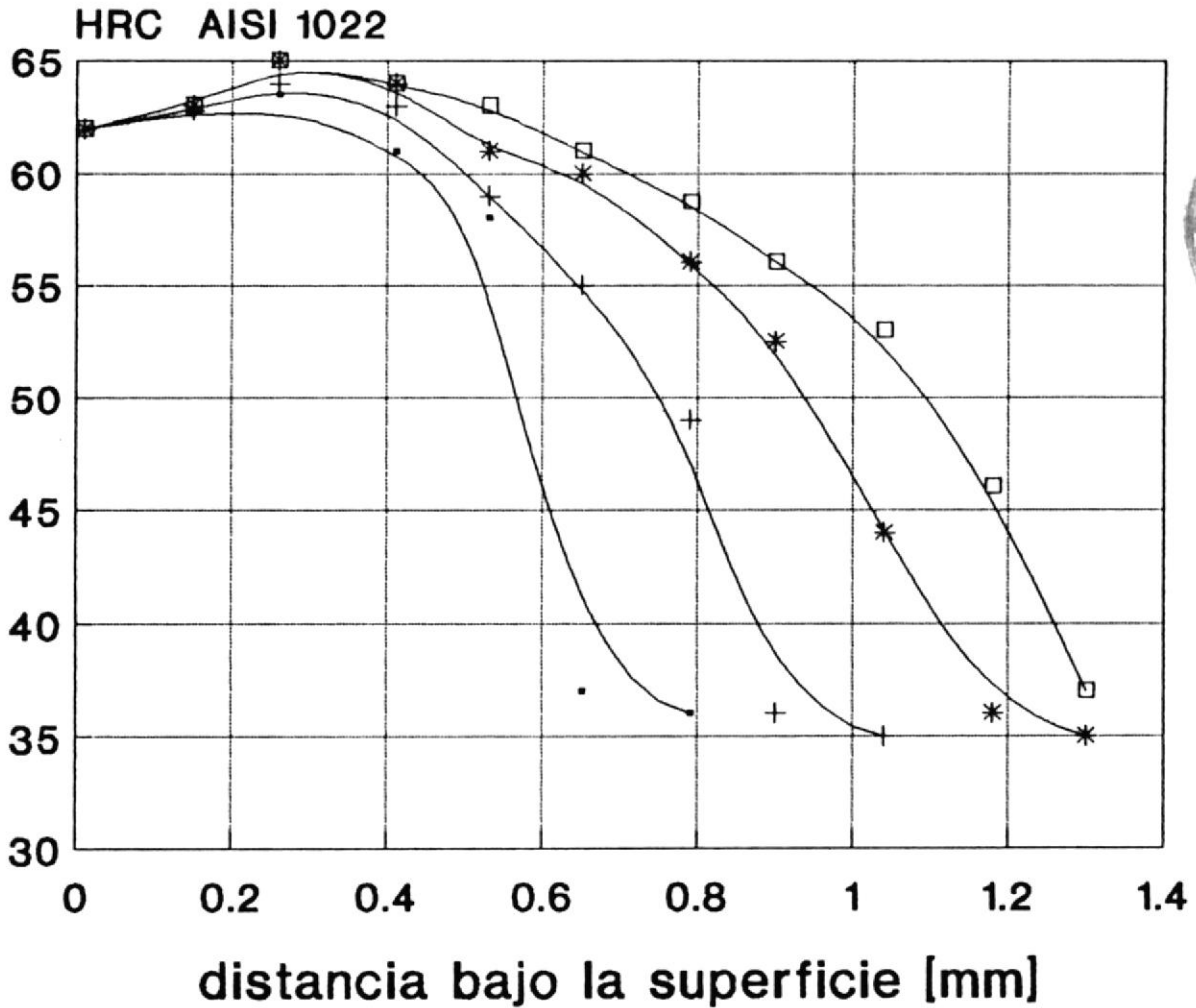


FIG. 17 EFECTO DEL TIEMPO EN EL GRADIENTE DE DUREZA EN UN ACERO 1022 CEMENTADO

AUMENTO DE TEMPERATURA PARED DE CONCRETO AISLANTE

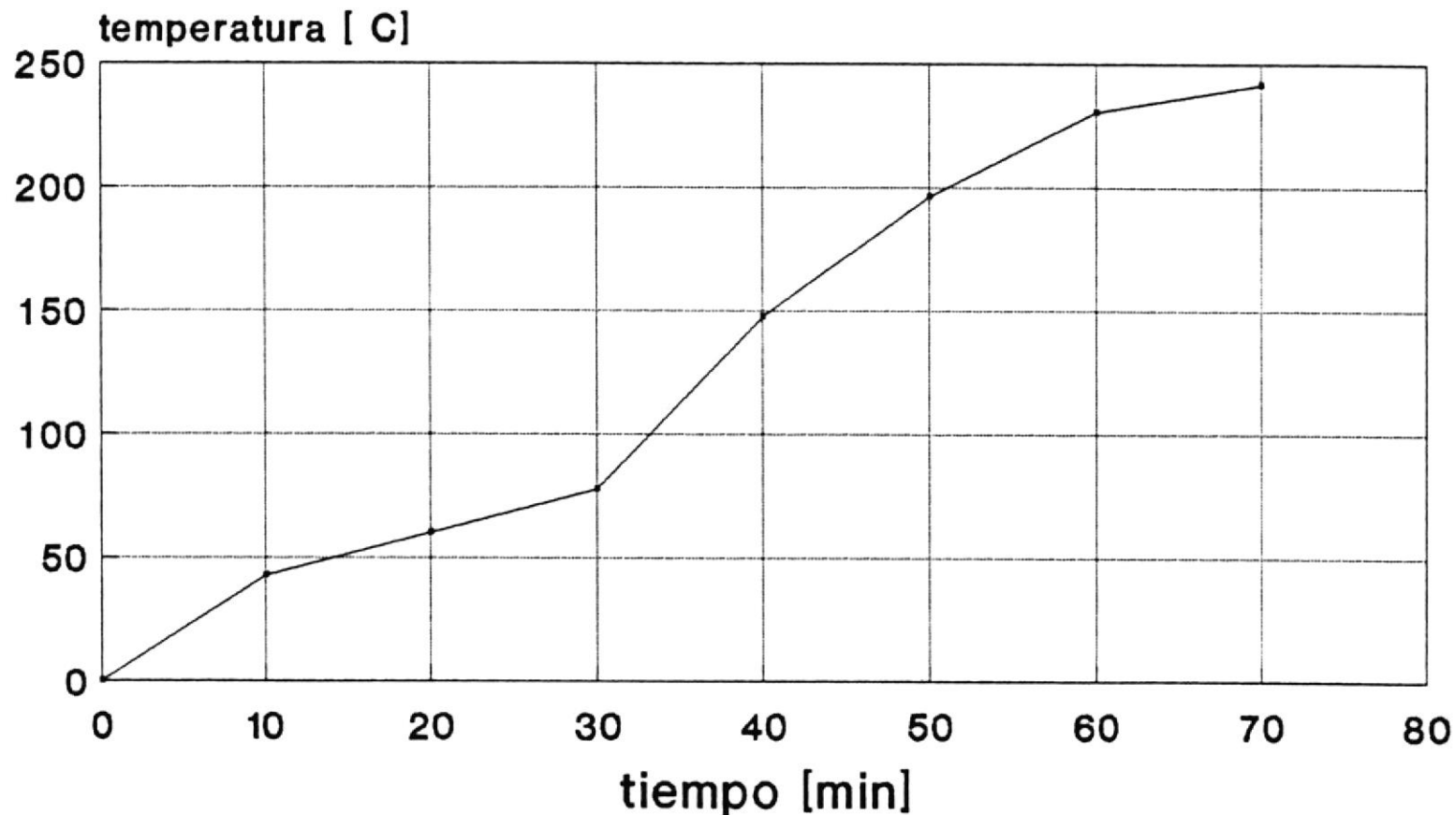


FIG. 20 AUMENTO DE TEMPERATURA EN LA
PARED EXTERIOR DEL CONCRETO AISLANTE
ESPEJOR 50mm

AUMENTO DE TEMPERATURA PARED INTERIOR DEL HORNO

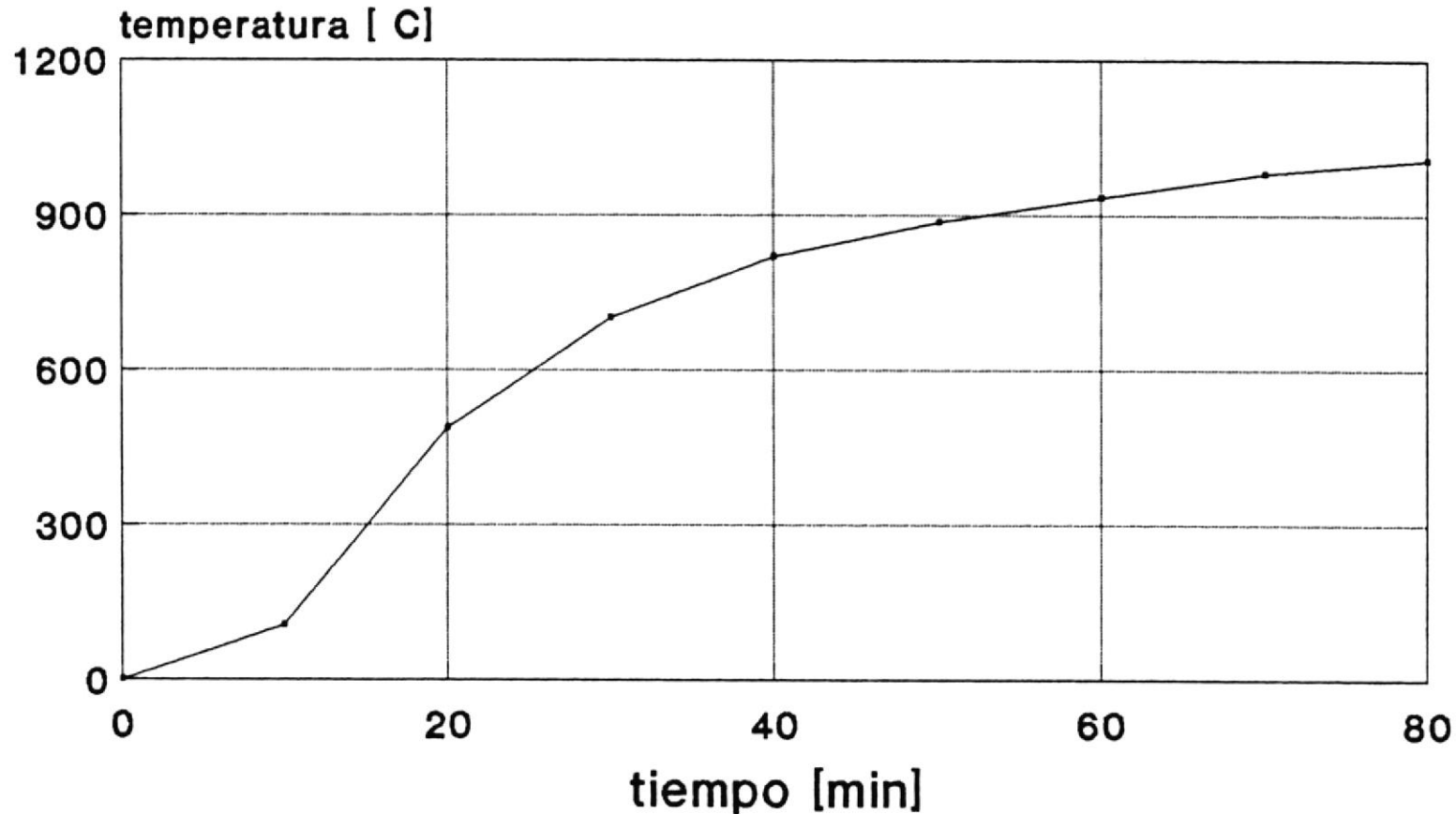


FIG. 19 GRADIENTE DEL AUMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA PARED INTERIOR DEL HORNO (CONCRETO AISLANTE)

PERDIDA DE TEMPERATURA PARED DEL HORNO

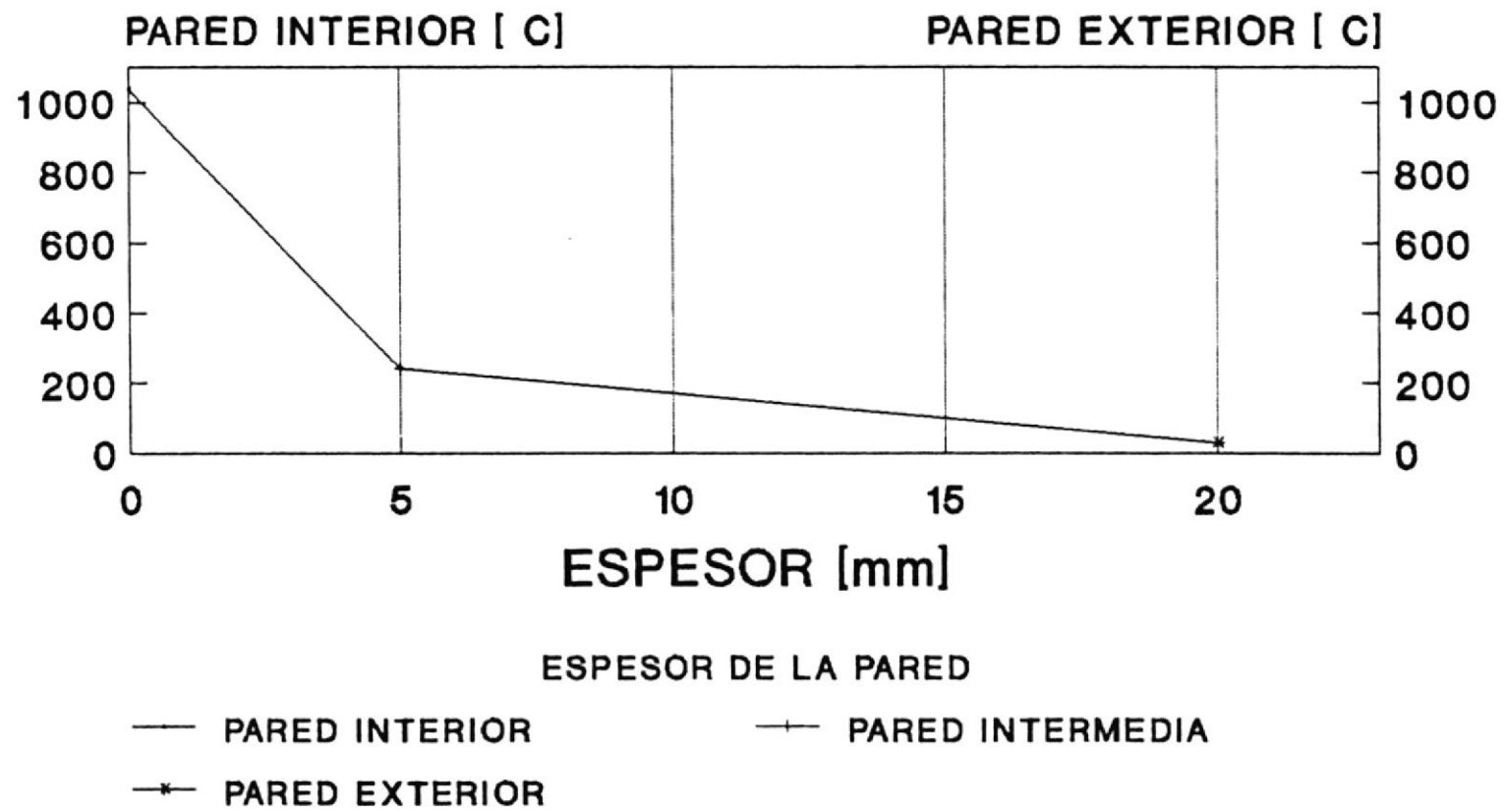
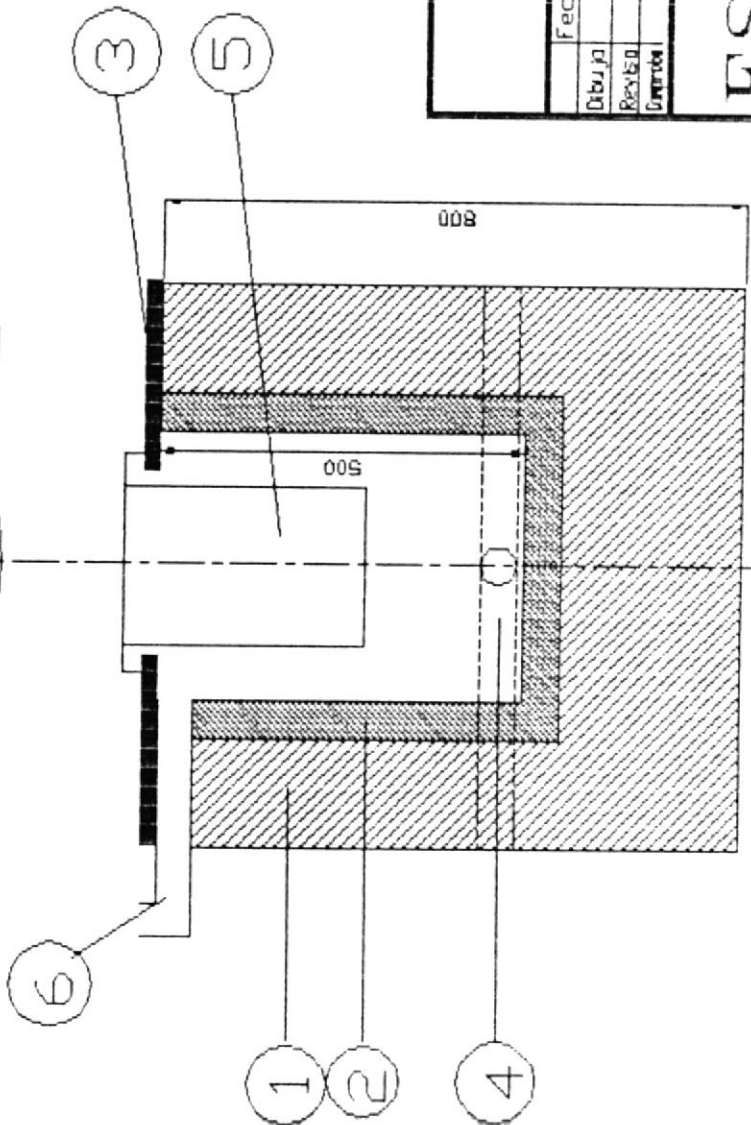
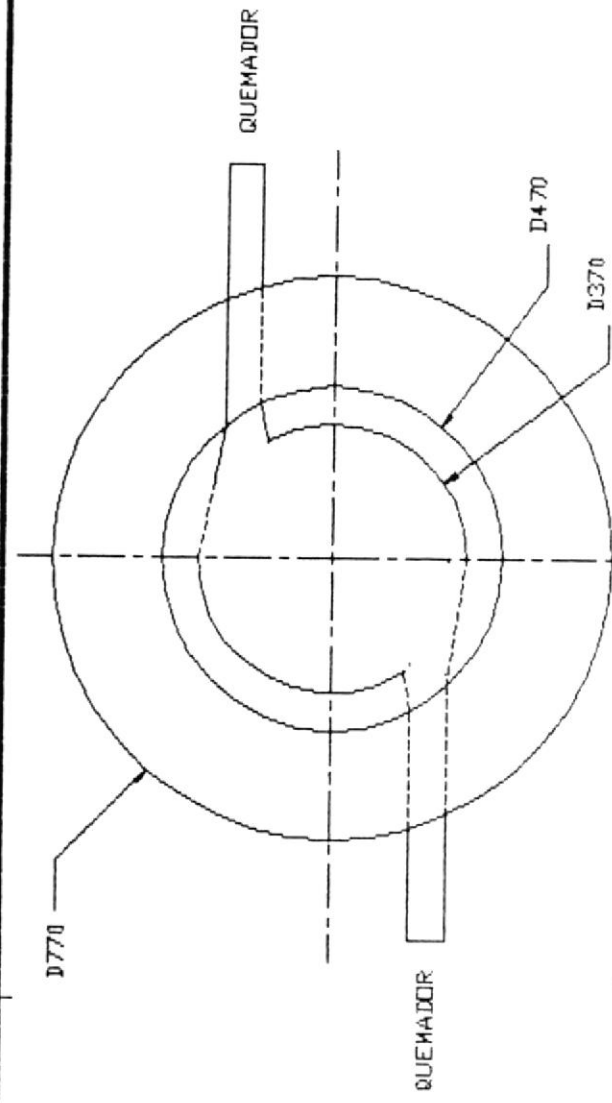



FIG.18 PERDIDA DE TEMPERATURA
EN LA PARED DEL HORNO



- 1.- Piedra Pomez
- 2.- Concreto Aislante
- 3.- Tapa
- 4.- Quemador
- 5.- Crisol
- 6.- Chimenea

Peso		Material	
Fecha	Nombre	<h1>HORNO</h1>	
Dibujo	Revisión		
Revisión	Control		
<h1>ESPOL</h1>		Escala 1:10	
			

APENDICE B

GRAFICOS Y FIGURAS DE LA EVALUACION Y DISEÑO DEL HORNO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de efectuarse el análisis del diseño, de los materiales y de la manufactura del horno, objeto del presente trabajo, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

1.- El horno, presentó una respuesta rápida, es decir, se llegó a la temperatura deseada en poco tiempo, con poca pérdida de temperatura en la pared de concreto aislante.

2.- El aislante (piedra pómez) que se utilizó entre la pared de concreto aislante y la cubierta externa fue el adecuado, pues la temperatura exterior del horno no presentó cambios significativos, se mantuvo a temperatura ambiente durante mucho tiempo mientras se estaba trabajando, y solamente registró un pequeño aumento de temperatura (2-10 °C) cuando trabajó por un largo periodo de tiempo. Cabe resaltar, que esto ocurrió mientras se estaba realizando una prueba para lo cual no está diseñado el horno (se estaba fundiendo aluminio), y se trabajó por un tiempo mayor que el que requeriría un tratamiento térmico.

- 3.- La ubicación de los quemadores dieron el resultado buscado, pues la llama no "tocó" de lleno el crisol y por el contrario las llamas hicieron el recorrido deseado, esto es que las llamas recorran las paredes del horno y que estas recorrieran circunferencialmente el crisol.
- 4.- Se trató en lo posible evitar la pérdida de calor através del piso, y para esto se lo montó sobre una base de ladrillos refractarios, y los espacios "vacíos" se los llenó con piedra pómez. El resultado fue satisfactorio, pues no hay pérdida de calor através del piso.
- 5.- Se decidió ubicar la chimenea el la parte alta del horno, para de esta manera ayudar a la salida de los gases calientes producto de la combustión. El resultado fue satisfactorio, pues los gases no encontraron mayor dificultad en salir.
- 6.- La tapa, que se construyó de varios anillos c/u de espesor $e = 4 \text{ mm}$ (sección 2.6), no resistió la alta temperatura, pues esta se deformó cuando se enfrió. Cabe resaltar que durante el funcionamiento, esta trabajó de la manera prevista, inclusive la pérdida de calor entre esta y el horno fue mínima.

BIBLIOGRAFIA

1. A HISTORY OF METALURGY. Tercera edición, Metal Society; Londres: 1984.
2. ACEROS DE CEMENTACION. Aceros de Níodio, S.A.; Tercera edición: Urmo S.A. de ediciones; España: 1975.
3. EL HORNO TUNEL AL ALCANCE DEL CERAMISTA Y DEL LADRILLERO. Eloy Robusté; Ediciones CEAC; Tercera edición; España: 1969.
4. ANALISIS DE PLANTAS. Ing. Mec. Raúl Lascano; Profesor de la E.S.P.O.L.; Imprenta de la E.S.P.O.L.; 1987.
5. HEAT TREATER'S GUIDE: Standard Practices and Procedures for Steel; P. M. Unterweiser et. al.; Editado por A.S.N.; U.S.A.; 1982.
6. CIENCIA DE LOS MATERIALES. Kozlov; Editorial MIR; Moscú; Tercera edición; 1986.
7. METALURGIA, METALOGRAFIA Y MATERIALES DE CONSTRUCCION. Kuzmin y Samojotshi; Editorial MIR; Moscú; Tercera edición; 1986.
8. MANUAL DEL INGENIERO MECANICO TOMO I, II Y III T. Baumeister, Avallone y I. Baumeister III; McGraw-Hill; Tercera edición en español; 1986.
9. TRATAMIENTO QUIMICO-TERMICO DE LOS METALES. Laitin y Arzamásov; Editorial MIR; Moscú; Tercera edición; 1987.

10. METALURGIJA Y TRATAMIENTO TERMICO DE LOS METALES.
Lajtin; Editorial MIR; Moscu; 4ta edición 1985.
11. METALOGRAFIA. Guliaev; Editorial MIR; Moscu; 1ra edición: 1973.
12. TRANSFERENCIA DE CALOR. Incropera - De Witt; Folleto AEIM; 1ra edición; 1990
13. HIGH TEMPERATURE THERMAL INSULATION. Circar Products; Catálogo de referencia; Tele: 996608 Florida; 1985.
14. HORNS INDUSTRIALES, VOLUMEN I Y II. Trinks y Mawhinney; Editorial Urmo; España; 1975.
15. CASE HARDENING OF STEEL. Boyer; Compilado por la ASM; U.S.A. 1987
16. METALS HANDBOOK; A.S.M.; 9na edición; U.S.A.; 1981.