



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



“ DISEÑO DE UN HORNO PARA RECUPERAR  
DESECHOS DE LAMINACION DE PALANQUILLAS ”

**INFORME TECNICO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECANICO**

Presentado por:

**Kléber Antonio Ordóñez Alemán**

Guayaquil - Ecuador

1989

DEDICATORIA

---

A MI PADRE QUE EN PAZ DESCANSE

A MI MADRE

A MI ESPOSA

Al CINEB por su  
ayuda en la  
elaboración del presente  
Informe Técnico.  
Al CINEB por su  
pulsio.

## AGRADECIMIENTO

Al ING. MANUEL HELGUERO F.  
Director de Informe Técnico,  
por su valiosa y desinteresada ayuda en la  
elaboración del presente  
Informe Técnico.

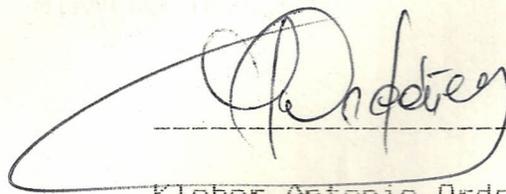
Al CIMEG por su ayuda e impulso.

DECLARACION EXPRESA

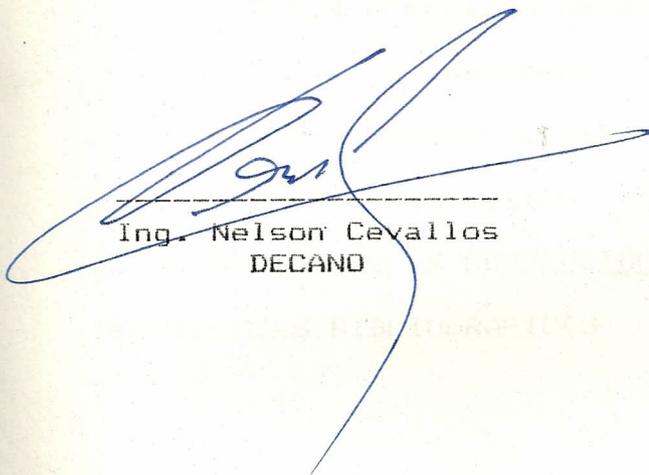
DECLARO QUE:

" Este Informe Técnico corresponde a la resolución de un problema práctico relacionado con el perfil profesional de la Ingeniería Mecánica".

(Reglamento de Graduación mediante la elaboración de Informes Técnicos).



Kleber Antonio Ordoñez Aleman



-----  
Ing. Nelson Cevallos  
DECANO



-----  
Ing. Manuel Helguero F.  
DIRECTOR INFORME



-----  
Ing. Ignacio Wiesner F.  
MIEMBRO TRIBUNAL

cales ↑

3.2. Cálculo termotécnico producido en el horno

3.2.1. Calor aportado al acero

3.2.2. Pérdidas por las paredes, incluyendo las  
producidas por el almacenamiento de calor

3.2.3. Pérdidas por radiación

3.2.4. Pérdidas de gases del horno por la puerta  
y aberturas

3.2.5. Calor sensible perdido en los productos de  
combustión

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

---

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

## INDICE GENERAL

RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

### 1. ANTECEDENTES

1.1. Historia

1.2. Justificación

1.3. Objetivo

### 2. DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1. Alternativas de uso de los desechos y selección de la mejor

2.2. Descripción del sistema de recuperación de desechos

### 3. DISEÑO DEL HORNO

3.1. Factores principales que inciden en el diseño

3.1.1. Producción deseada en t/h

3.1.2. Dimensión de la materia prima a calentarse

3.1.3. Calidad del material que tenga la

3.1.4. Temperatura de la carga transversal

3.1.5. Temperatura de deshornamiento

3.1.6. Diferencia máxima admitida entre las temperaturas de los puntos más calientes y más fríos de la pieza deshornada

3.1.7. Combustible del PCI y del

3.1.8. Exigencias particulares y condiciones lo-

## INDICE DE FIGURAS

- Fig. 1.- Diagrama de flujo del sistema de laminación en caliente.
- Fig. 2.- Diagrama de flujo del balance de materiales.
- Fig. 3.- Diagrama de flujo del sistema de recuperación de desechos.
- Fig. 4.- Tiempos de calentamiento en hornos de empuje en función del espesor.
- Fig. 5.- Flujo calorífico en un horno.
- Fig. 6.- Entalpía del hierro y del acero.
- Fig. 7.- Gradiente de temperaturas para flujo calorífico en régimen permanente a través de una pared compuesta, con presiones iguales a ambos lados de la pared.
- Fig. 8.- Conductividad media de los materiales refractarios.
- Fig. 9.- Radiación a través de aberturas de forma diversa, expresada como fracción de la radiación de una superficie libremente expuesta que tenga la misma superficie que la sección transversal de la abertura.
- Fig. 10.- Temperatura interior de la pared (para presión atmosférica en el horno).
- Fig. 11.- Caudales de aire teórico  $V_a$  y humos  $V_n$  para fuel-oil en función del PCI y del coeficiente de exceso de aire.

## RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo es el de recuperar desechos de palanquillas producidos en la laminación de las mismas.

La idea central de instalar el tren recuperador es la de optimizar recursos existentes y diversificar las líneas de producción. Es decir se pretende maximizar utilidades en inversiones marginales.

Esta instalación constituye un paso importante para lograr el desarrollo industrial del Ecuador en el sector metal-mecánico. Utilizaré una tecnología de proyecto y de ingeniería local, con especificaciones dirigidas a fabricantes nacionales, para construir todo el equipo con nuestros recursos, así también como para llevar a cabo el proceso productivo de la misma.

La producción de perfiles livianos, viene a llenar en parte la gran demanda que existe a nivel local y nacional. También ayuda al desarrollo de industrias que se encuentran vinculadas con la fabricación de estructuras tales como: galpones, naves, plataformas, etc.; talleres industriales que se dedican a la fabricación de elementos complementarios en la construcción de viviendas tales como: ventanas, puertas, verjas, etc.; a pequeños talleres artesanales que se dedican a construir elementos de hierro destinados a la decoración.

La producción se destinará al mercado local y nacional

con el objeto de sustituir en parte las importaciones actuales de países como EE.UU. y Japón, para satisfacer el creciente requerimiento de perfiles.

La competencia con que se enfrentaría este producto, sería con el importado que tiene características similares, pero con un precio de venta al consumidor mayor que el propuesto en este informe, por lo que será fácil su introducción al mercado local y nacional.

En el país existe capacidad instalada de producción suficiente para cubrir la demanda. Sin embargo de lo anotado, ANDEC tiene ventajas comparativas que le permitirá incursionar con éxito en el mercado.

El presente trabajo se inició con los estudios de factibilidad en coordinación con el personal de ECUASIDER en el año 1981; en dicho estudio se determinó la rentabilidad del proyecto a llevarse a efecto.

De inmediato ANDEC comenzó a construir un Stand Trio, y se me encomendó el Diseño y Construcción del Horno; una vez diseñado el horno procedí a la construcción del mismo (con personal contratado por obra cierta); las fases de diseño y construcción las termine a fines de 1982 y el horno estuvo listo para ser puesto en marcha en el año 1983.

## CAPITULO I

### ANTECEDENTES

#### 1.1. HISTORIA

Voy a comenzar mi informe con una breve descripción del proceso de laminación en caliente, figura #1, para posteriormente determinar como es que se producen los distintos desechos de palanquillas.

La materia prima para la elaboración de la varilla es la palanquilla, la misma que en su mayoría tiene las siguientes características:

- a) Acero de construcción SAE 1030 (A-28) con una resistencia a la fluencia de 2800 Kg/cm<sup>2</sup>.
- b) Acero de construcción SAE 1040 (A-42) con una resistencia a la fluencia de 4200 Kg/cm<sup>2</sup>.

La palanquilla que se obtiene ya sea por pedidos de importación (80%) o por abastecimiento local de la planta FUNASA (20%) es almacenada cerca del horno para luego ser cortada a 4 mts de longitud o según pedido requerido, para posteriormente ser llevada mediante un polipasto de 4 toneladas a un HORNO DE CALENTAMIENTO DE 27 TON/H, el cual está compuesto interiormente por un revestimiento de ladrillo refractario; lateralmente está provisto de 18 quemadores y utiliza como combustible el Bunker, el cual es mezclado con aire caliente en las toberas para realizar la combustión de la forma requerida. En el interior del horno se pueden distinguir TRES

ZONAS DE TEMPERATURA a las cuales son llevadas las palanquillas colocadas en el interior del mismo.

I zona 1000°C entrada del horno

II zona 1240°C centro del horno

III zona 1320°C salida del horno

La palanquilla que sale del horno a una temperatura de 1320°C es conducida mediante un tramo de rodillos motorizado a un tren desbastador donde es reducida de sección transversal mediante 5 pasadas a una sección final de aproximadamente 42mmx42mmx18000mm de longitud.

Luego de pasar por la zona de desbaste; este cuadrado de 42mm, es conducido mediante un camino de rodillos motorizado a una cizalla de corte encargada de eliminar la punta dañada de las barras.

Esta barra una vez que ha sido despuntada es llevada a un tren laminador de 10 STANDS, donde se produce el estiramiento del material y su respectiva reducción de sección.

A partir del STAND 10 la producción puede seguir dos líneas:

- Hacia la mesa de enfriamiento, cuando se producen varillas superiores a 10 mm.
- Hacia el tren alambros PDMINI-FARREL cuando se producen varillas inferiores a 10 mm, aquí la varilla se obtiene en rollos.

Cuando se utiliza la primera línea de producción, el

STAND 10 se encarga de dar el corrugado a la varilla, la misma que es cortada automáticamente en su cola por una cizalla volante para posteriormente ser depositada en una MESA DE ENFRIAMIENTO donde se enfria el producto terminado y luego es cortado a longitudes comerciales mediante una cizalla de corte en frío.

Cuando se utiliza la segunda línea de producción (línea de alambón), la barra que sale del STAND 10 es llevada a un MONOBLOCK, el mismo que se encarga de dar el acabado final al producto para posteriormente ser depositado en una cama de enfriamiento accionada por rodillos que se encargan de llevar el producto a un cono formador de rollos, donde se forman los rollos, que posteriormente son llevados a la bodega de productos terminados mediante una cadena transportadora.

Una vez descrito el proceso de laminación en caliente vamos a proceder a detallar como es que se producen los distintos desechos de laminación de palanquillas:

- Cuando se produce una falla (desajuste) en la mesa de enfriamiento, se produce rechazo de producto terminado que toma el nombre de DESECHOS RECUPERABLES porque se pueden vender como rechazo de producto terminado.
- Cuando se produce una falla en el tren laminador

ya sea por desgaste o mala posición de una guía de entrada o salida, etc., se produce rechazo de producto semiterminado que toma el nombre de DESECHOS NO RECUPERABLES, porque se vende como chatarra.

- Cuando se produce una interrupción del proceso productivo en la parte delantera, ya sea en la mesa de enfriamiento, en el monoblock, en la estación de atado o en el mismo tren de laminación; en muchas ocasiones la palanquilla ya esta siendo desbastada y no puede seguir su proceso normal debido a las interrupciones mencionadas; por lo que se opta por cortar el producto que sale del desbaste que es de aproximadamente  $\bullet 42 \times 42 \times 18000$  mm en tramos de  $\bullet 42 \times 42 \times 6000$  mm para posteriormente ser vendido como chatarra a FUNASA. Este producto toma el nombre de desecho no recuperable.

Este desecho no recuperable es el que posteriormente se introducirá al horno.

El Horno ha pasado, en el curso de las últimas décadas, de ser un elemento secundario en la laminación a ser una unidad de suma importancia en las instalaciones modernas.

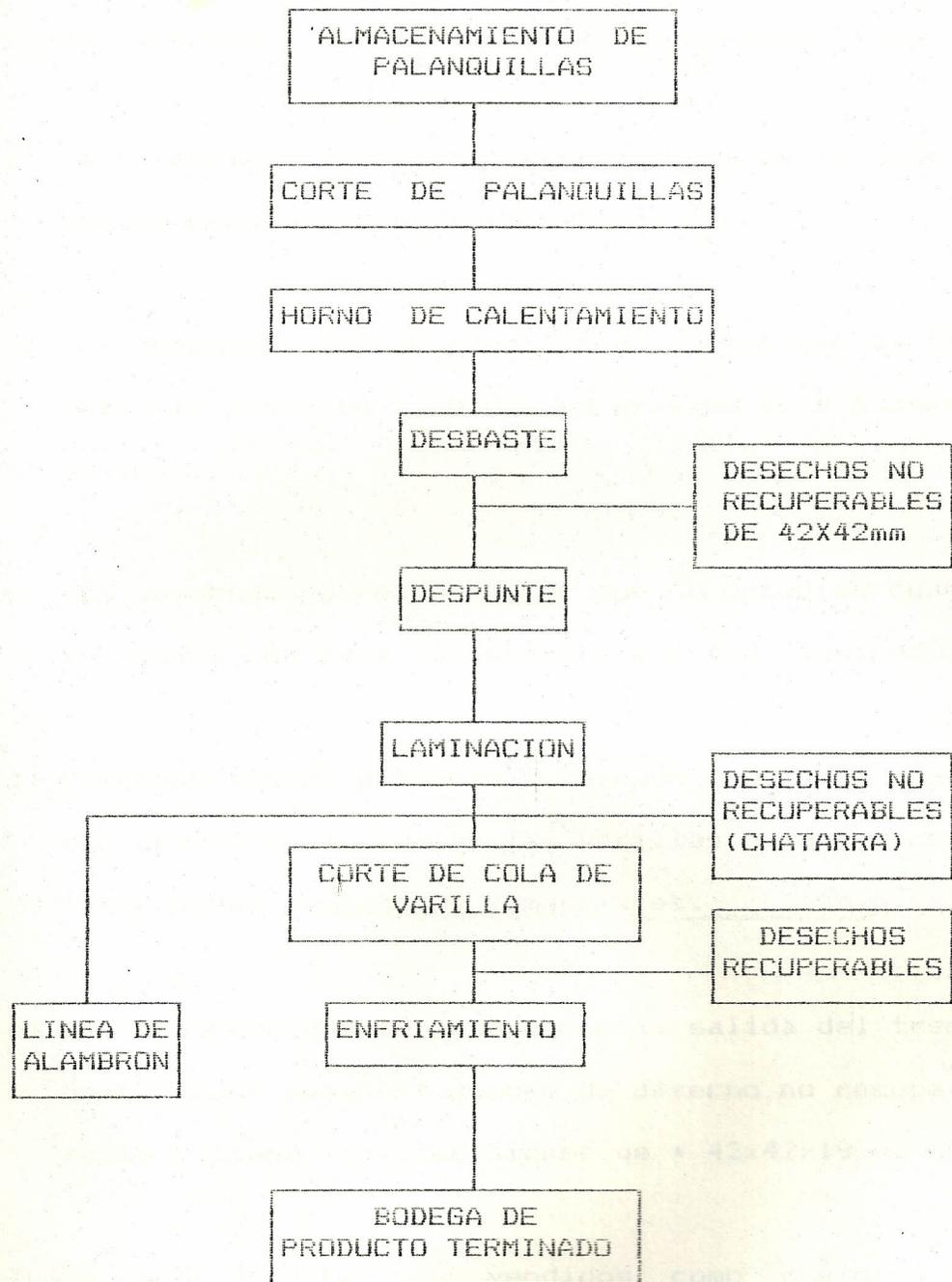


Fig. #1.- Diagrama de flujo del sistema de laminación en caliente.

## 1.2. JUSTIFICACION

Según he descrito el proceso de laminación en caliente, puedo deducir que se producen los siguientes desechos de laminación de palanquillas:

- a) La cascarilla o laminilla proveniente de la laminación propia de la palanquilla.
- b) Los despuntes que se producen al cortar con la cizalla la punta de la barra en pedazos de  $\approx 42 \times 42 \times 80$  mm.
- c) Los desechos no recuperables que se producen cuando existe una mala calibración del tren laminador
- d) Los recortes de producto terminado que se producen cuando se emparejan las varillas para ser cortadas según longitudes comerciales.
- e) Los desechos que se producen a la salida del tren desbastador toman el nombre de desecho no recuperable y tiene las dimensiones de  $\approx 42 \times 42 \times 18000$  mm

Todos estos desechos son vendidos como chatarra a FUNASA a muy bajo precio que significa el 3.5% del valor total de la materia prima utilizada, lo que representa una gran pérdida para cualquier empresa

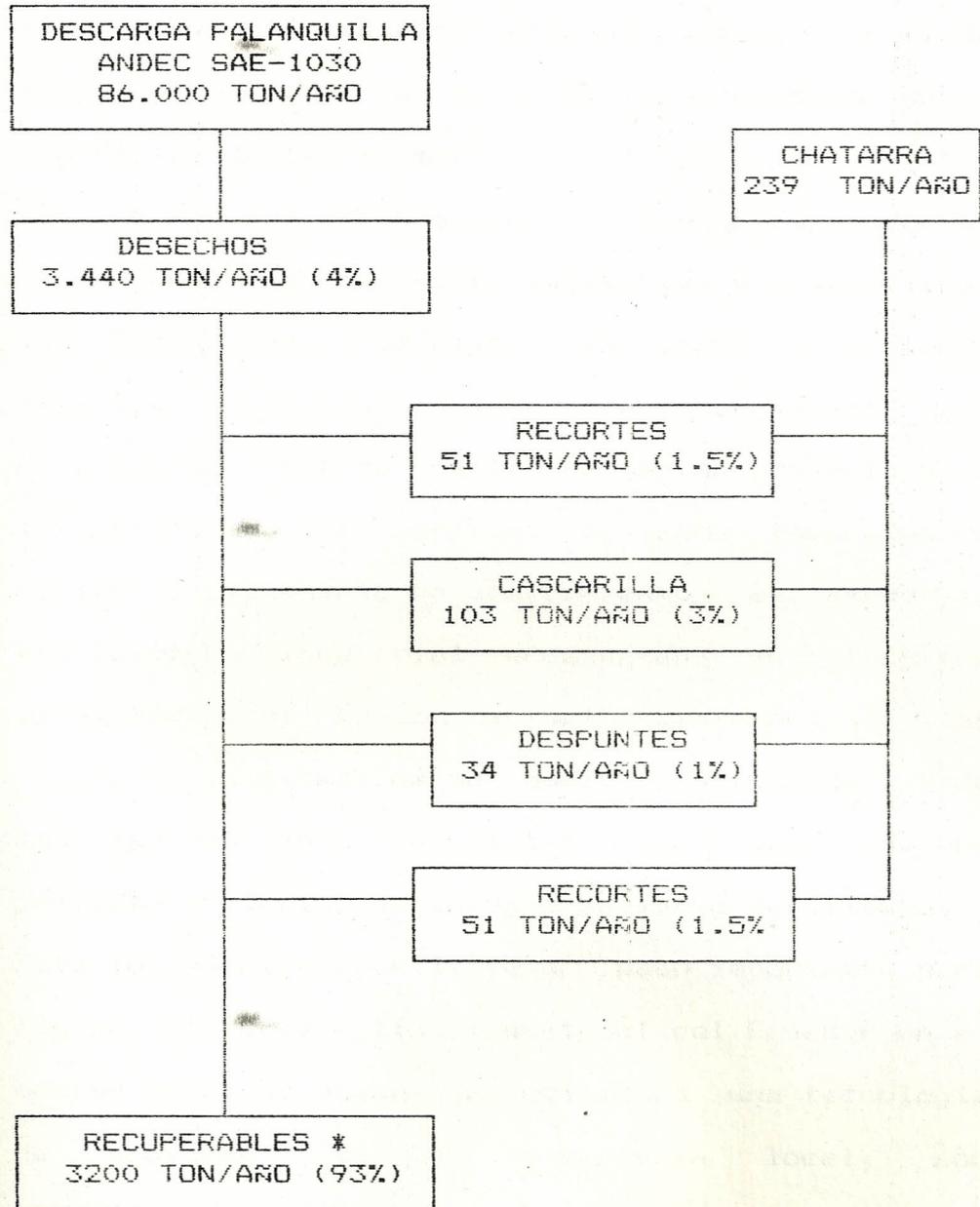
siderúrgica.

Analizando los desechos arriba mencionados puedo deducir que los mencionados en el literal a, b, c, y d, deben ser vendidos necesariamente como chatarra, no así los desechos mencionados en el literal e; los mismos que pueden servir como materia prima en la producción de perfiles livianos mediante un tren de laminación de pequeña capacidad.

El presente estudio pretende demostrar y cuantificar la factibilidad técnico-económica de producir, por laminación en caliente, perfiles livianos de acero a partir de los desechos de palanquilla mencionados en el literal e. Ver figura #2.

El respectivo tren de laminación se integrará a las actuales instalaciones de la planta ACERIAS NACIONALES "ANDEC".

La decisión de incorporar la producción de estos perfiles obedece a la existencia de un mercado de ~~importancia, satisfecho al momento con comprar al exterior,~~ a la necesidad de utilizar de manera más eficiente las instalaciones en operación de ANDEC y a la oportunidad de aprovechar la disponibilidad de materia prima o sea desechos, insumos y repuestos como rodillos, etc.



\* Coeficiente técnico de conversión de desechos a productos terminados.

Fig. #2.- Balance de materiales

### 1.3. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es el de recuperar desechos de palanquillas producidos en la laminación de las mismas.

La idea central de instalar el tren recuperador es la de optimizar recursos existentes y diversificar las líneas de producción. Es decir se pretende maximizar utilidades en inversiones marginales.

El presente trabajo aparte de ser un proyecto para la fabricación de perfiles livianos laminados en caliente, representa un acercamiento a esclarecer la problemática industrial ecuatoriana en el sector metal-mecánico: de su actual situación; de las causas de la misma; de sus posibles soluciones y de las medidas más inmediatas enmarcadas en una política sectorial definida a lo largo del tiempo.

Esta instalación constituye un paso importante para lograr el desarrollo industrial del Ecuador en el sector metal-mecánico. Se utilizará una tecnología de proyecto y de ingeniería local, con especificaciones dirigidas a fabricantes nacionales, para construir todo el equipo con nuestros recursos, como así también para llevar a cabo el proceso productivo de la misma.

La producción de perfiles livianos, viene a llenar en parte la gran demanda que existe a nivel local y nacional. También ayuda al desarrollo de industrias

que se encuentran vinculadas con la fabricación de estructuras tales como: galpones, naves, plataformas, etc.; talleres industriales que se dedican a la fabricación de elementos complementarios en la construcción de viviendas tales como: ventanas, puertas, verjas, etc.; a pequeños talleres artesanales que se dedican a construir elementos de hierro destinados a la decoración.

La producción se destinará al mercado local y nacional con el objeto de sustituir en parte las importaciones actuales de países como EE.UU. y Japón, para satisfacer el creciente requerimiento de perfiles.

La competencia con que se enfrentaría nuestro producto, sería con el importado que tiene características similares, pero con un precio de venta al consumidor mayor que el nuestro, por lo que será fácil su introducción al mercado local y nacional.

En el país existe capacidad instalada de producción suficiente para cubrir la demanda. Sin embargo de lo anotado ANDEC, tiene ventajas comparativas que le permitirá incursionar con éxito en el mercado.

## CAPITULO II :

### DEFINICION DEL PROBLEMA

#### 2.1. ALTERNATIVAS DE USO DE LOS DESECHOS Y SELECCION DE LA MEJOR.

Anteriormente he mencionado que se producen 5 desechos de laminación de palanquillas; entre las cuales encontramos la cascarilla o laminilla proveniente de la propia laminación, la cual es botada como chatarra sin que reporte ningún beneficio económico.

Los desechos mencionados anteriormente en los literales b, c, y d, tales como los despuntes, desechos no recuperables producidos en el tren laminador, y recortes de productos terminados; son vendidos como chatarra a FUNASA, a lo cual encuentro justificación, ya que es un producto que no se lo puede recuperar en tales condiciones.

A continuación y en último término tenemos un desecho que es el que tiene gran importancia para mí y al que me referire en mi estudio ó informe técnico; este desecho toma el nombre de desecho no recuperable y se produce a la salida del tren desbastador, cuando por cualquier circunstancia se detiene la producción por un problema en el proceso intermedio o final de laminación.

Este desecho en la actualidad se le da los siguientes usos a saber:

a) Se lo vende como chatarra a muy bajo precio a FUNASA; para luego ser fundido en el horno eléctrico existente, 3.5% del valor total de la materia prima.

b) Se lo vende como chatarra a muy bajo precio a laminadores existentes en la localidad tales como TALME, PERFILESA, etc., 3.5% del valor total de la materia prima.

De lo mencionado anteriormente se infiere que para el aprovechamiento total de estos desechos, se tendría que disponer de un tren laminador pequeño en el cual se aprovecharía estos desechos como materia prima para la elaboración de perfiles livianos mencionados con anterioridad.

A manera de estudio y de información presento en primer lugar la tabla #1, en la que consta la proyección de la demanda de perfiles livianos para los próximos seis años, en segundo término presento un estudio, en el que consta el costo de la inversión a realizarse y el costo de producción de estos perfiles livianos, para luego hacer un análisis comparativo con relación al precio de venta al mercado local y establecer el respectivo punto de equilibrio para justificar la inversión a llevarse a efecto.

PROYECCION DE LA DEMANDA DE PERFILES LIVIANOS	
1981	1986
AÑO	TONELADAS
1981	16750
1982	17770
1983	18860
1984	20020
1985	21260
1986	22580

Tabla #1.- Proyección de la demanda de perfiles livianos.  
1981-1986

### 2.1.1. PROYECCION DE LA DEMANDA

Los consumidores de perfiles livianos son los sectores de la construcción civil y de la metal-mecánica especialmente en carpintería metálica.

En la actualidad no existe producción nacional de la totalidad de perfiles livianos por lo que la demanda se abastece básicamente con importaciones.

La tabla #1 registra la estimación de los volúmenes de perfiles livianos a demandarse hasta 1986. Para la proyección se ha aplicado el siguiente criterio:

El Plan Nacional de Desarrollo para 1980-1984 en las proyecciones globales del producto interno bruto estima una tasa media anual acumulativa de crecimiento para 1979-1984 del 6.5%. El PIB, igualmente promedio, para el sector de la construcción se proyecta crecerá al 9.9%.

La demanda de los perfiles livianos está estrictamente ligada al crecimiento del sector de la construcción y por ende debería crecer a igual ritmo, sin embargo por razones coyunturales actuales se duda del cumplimiento real de las metas del plan.

Por este motivo, en este estudio se adopta un

crecimiento del 6.5% anual, igual al PIB global, aplicado al promedio de las importaciones de 1978 a 1980, añadiendo 1000 toneladas de barras cuadradas de producción nacional.

De esta manera se identifica un mercado conservador pero seguro.

La tabla #2 estratifica la demanda futura por tipo de perfil y en base a la composición analizada en 1977-1978.

#### 2.1.2. COSTOS DE INVERSIONES A REALIZARSE

A pesar de que el tren experimental pretende optimizar el uso de las instalaciones existentes en la planta de laminación de ANDEC; a continuación se detallan los rubros más importantes de la inversión a realizarse bien sea por adquisición de nuevos equipos y/o por la valoración estimada que se asignan a algunos activos existentes o de posible fabricación interna.

##### A. INVERSION FIJA

###### A.1. TERRENO Y NAVE INDUSTRIAL: DISPONIBLE

###### A.2. OBRAS CIVILES Y ADUCCION DE SERVICIOS

- Desmontaje maquinarias existentes(enderezadoras)	35.000
- Excavación 350 m <sup>3</sup> x S/.100 c/m <sup>3</sup>	35.000
- Hormigón 90 m <sup>3</sup> x S/.2000 c/m <sup>3</sup>	180.000

PROYECCION DE LA DEMANDA DE PERFILES LIVIANOS  
 POR TIPOS (TONELADAS)  
 1981      1986

PERFIL	BARRA					TOTAL
AÑO	ANGULOS	PLATINAS	TEES	CUADRADA	OTROS	
1981	9119	4268	1496	1458	409	16750
1982	9710	4545	1593	1486	436	17770
1983	10341	4840	1697	1518	464	18860
1984	11013	5154	1807	1552	494	20020
1985	11731	5490	1925	1587	527	21260
1986	12495	5848	2050	1626	561	22580

Tabla #2.- Proyección de la demanda de perfiles livianos por tipos 1981-1986.

- Armadura 15000 Kgs x S/.21 c/Kg	315.000
- Encofrado 630 m <sup>2</sup> x S/.300 c/m <sup>2</sup>	189.000
- Relleno 80 m <sup>3</sup> x S/.150 c/m <sup>3</sup>	12.000
- Limpieza 400 m <sup>2</sup> x S/.10 c/m <sup>2</sup>	4.000
- Anclajes 300 Kg x S/.150 c/Kg	45.000
- Bases met. 800 Kg x S/.150 c/Kg	120.000
- Tapas can. 100 m <sup>2</sup> x S/.500 c/m <sup>2</sup>	50.000
- Aducción elec.: cableria, tableros switches, etc	100.000
- Aduc. agua: can., bomb., tub., etc.	150.000
SUMAN	1'235.000

### A.3. MAQUINARIA Y EQUIPOS

- Horno de recalentamiento manual de 2 ton/h(ladrillos refractar., anclaje, quemadores, etc.)	800.000
- 2 STAND de laminación incluyen- do accesorios: ampuezas, cuñas, tensores, rodillos laminación valorados en U.S.\$ 1000 c/u	1'450.000
- Cama de enfriam. de 14m x 1m incluyendo estructura de so- porte y operación manual	125.000
- Camino de rodillos de acceso al tren de 2.5 m compuesto por 6 rodillos de 4500mm x 2300mm con cadena accionados por un motor de 7.5 HP** y un canal	

de entrada al STAND #1 de 3 m.	235.000
- ** Motor de 1000 Kw, 900 RPM.	
Reductor caja de piñones a 3 ejes para velocidad de salida 200 RPM.	
(Incluye arranc., transf., etc.)	
U.S \$ 96000 x S/.25	2'400.000
- ** Utillaje de laminación: cajas, tubos y guías de entrada y salida.	100.000
- Camino de rodillos de salida del STAND #2 a la cama de enfriamiento de 2.5 m.	150.000
- ** Un equipo de oxicorte	150.000
- ** Una cizalla para corte en frío de prod. terminado.	625.000
- ** Una máquina enderezadora de perfiles.	500.000
- Tanque de combustible	
4000 Kg x S/. 100 c/Kg	400.000
- ** Repuestos = 5% rubros ant.	350.000
- Estudio, montaje e instalac.	300.000
SUMAN	7'585.000
- Grúa pórtico de 5 ton, máquinas herramientas para tallado y rectificación, cizalla para corte de desecho.	Disponib.

TOTAL INVERSION FIJA

8'820.000

B. CAPITAL DE TRABAJO

Considera las diferentes provisiones para cada uno de los rubros considerados que intervienen en este caso, en el costo de producción:

- Mat. prima (desechos)<sup>1)</sup>:

1 mes U.S \$ 150/ton 1'075.000

- Mano de obra directa:

1 mes 448.000

- Suministros de operación:

1 mes 124.700

- Productos terminados:

15 días 901.707

- Cuentas por cobrar <sup>2)</sup>:

1 mes 1'803.414

	TOTAL	CMR
SUMAN	13'172.821	80014'352.821 (60%)

INVERSION TOTAL (A+B) = 13'172.821

\*\* Valor de adquisición de equipos nuevos en base a cotizaciones locales.

1) Con fines del proyecto, pues en realidad el desecho siempre ha estado en stand-by como chatarra.

2) Al costo de producción

### 2.1.3. COSTOS DE PRODUCCION

Estimándose que desde el año 1 de producción de perfiles livianos (agosto 1981-agosto 1982 aproximadamente) se ocupará la capacidad máxima de producción de 3200 ton/año se registran los siguientes costos promedios por toneladas de perfiles en general (ángulos, barras, platinas, etc.).

#### A. COSTOS DE FABRICACION

##### A.1. MATERIA PRIMA

Desechos de acero grado inter-medio 1030 valorados al 50% del valor de la palanquilla

1075Kg/tonx3200tonxU.S\$150x\$25 12'900.000

##### A.2. MANO DE OBRA DIRECTA

#	DENOM	SALAR MENS.	SALAR ANUAL	TOTAL SALAR	CARG. SOCIA (60%)	TOTAL GENER
1	CAPAT	12000	144000	144000	86400	230400
5	OBRER CALIF	8000	96000	480000	288000	768000
5	SEMI-CALIF	6000	72000	360000	216000	576000
11						1'574400

Por cuatro turnos a excepción del capataz:

$1'344000 \times 4 = 5'376000$

### A.3. SUMINISTROS DE OPERACION

- Energía eléctrica		
120Kwh x S/.1.50Kwh x 3200ton		576000
- Agua: $1m^3/ton \times 40/m^3 \times 3200ton$		128000
- Fuel oil: 13.8 gal/ton x		
S/.77/gal x 3200ton		309120
- Refractarios: 1Kg/ton x		
S/. 11/kg x 3200ton		35200
- Rodillos, lubricantes, etc:		
S/.90/ton x 3200ton		288000
- Otros materiales (oxígeno, aceite, etc).		
S/.50/ton x 3200ton		160000
		1'496320

### A.4. DEPRECIACION

Se supone una vida útil promedio de los activos fijos de 15 años:

$$S/. 8'820000/15 \text{ años} = 588000$$

Depreciación  
anual

### A.5. SEGUROS

$$1\% \text{ de equipos} = 75850$$

### A.6. REPARACION Y MANTENIMIENTO

$$1\% \text{ sobre el valor maquinaria y equipo} = 75850$$

TOTAL COSTO DE FABRICACION: A1+A2+A3+A4+A5+A6

TOTAL COSTO DE FABRICACION = 20'512.020

B. COSTO DE ADMINISTRACION Y VENTAS:

Se supone que la infraestructura existente en ANDEC puede asimilar fácilmente estos costos. Justamente aquí radica parte de la optimización de lo existente, a más de una valoración más justa de los desechos y de utilización de instalaciones existentes con capacidad ociosa.

C. COSTOS FINANCIEROS

Se supone un 80% de la inversión fija financiada con crédito bancario al 16% de interés anual de

$$8'820.000 \times 0.80 \times 0.16 \qquad 1'128960$$

D. COSTO DE PRODUCCION

$$(A+C) = (20'512020+1'128960) \qquad 21'640980$$

COSTO DE PRODUCCION POR TONELADA = 6672.81

E. ESTADO PROFORMA DE PERDIDAS Y GANANCIAS (AÑO NORMAL)

INGRESO POR VENTAS

PRODUCCION Y VENTAS	VALOR POR TON.	TOTAL
3200 TON	14000	44'800000

UTILIDADES BRUTAS EN VENTAS = PRODUCCION Y VENTAS - COSTO DE PRODUCCION

$$\text{UTILIDADES BRUTAS EN VENTAS} = 44'800000 - 21'640980 = 23'159020$$

UTILIDADES BRUTAS EN VENTAS = 23'159020

UTILIDAD NETA ANUAL = UTILIDADES BRUTAS EN  
VENTAS - 15% UTILIDADES

UTILIDAD NETA ANUAL = 19'685167

F. RENTABILIDAD COMERCIAL

Sobre capital social  $\frac{19'685167}{6'116821} = 322\%$

Sobre inversión total  $\frac{19'685167}{13'172821} = 149\%$

G. CALCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO

RUBRO	COSTO FIJO	COSTO VARIABLE
MATERIA PRIMA		12'900000
MANO OBRA DIR.	5'376000	
SUM. DE OPER.		1'496320
DEPRECIACION	588000	
SEGUROS	75850	
REP. Y MANT.	75850	
GASTOS FINAN.	1'128960	
SUMAN	7'344660	14'396320

PE =  $\frac{CF}{1 - \frac{CV}{Ing. \text{ venta}}}$

PE =  $\frac{7'344660}{1 - \frac{14'396320}{44'800000}} = \frac{7'344660}{0.68}$

PE = 10'800970

VENTAS NECESARIAS = 771 TONELADAS

## 2.2. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE DESECHOS

El proceso de laminación en caliente a aplicarse en el proyecto es enteramente convencional. Fig. #3.

La fabricación se inicia en la sección de corte de materia prima, que en el caso presente constituyen los desechos aptos para reláminar, generados en el tren de laminación de ANDEC y que serán cortados en longitudes apropiadas en relación al perfil a laminar, a las dimensiones de la solera del horno de recalentamiento y a la capacidad de recepción de la cama de enfriamiento (longitud). Una vez cortados los desechos, éstos se cargan en el horno de recalentamiento y se someten a un período de calentamiento hasta alcanzar la temperatura óptima de laminación que para el acero se situa en este caso entre 1150°C y 1200°C.

Los desechos calientes se extraen del horno por medio de una tenaza, y a través de un camino de rodillos se guían para iniciar el proceso de deformación en el tren de laminación abierto, conformado por 2 STANDS TRIOS, los mismos que son accionados por un motor eléctrico de 1000 Kw, 900 RPM y una caja reductora con velocidad de salida de

200 RPM; por los cuales previo al despunte, la barra realiza varias pasadas de ida y vuelta, según el producto a laminar. La alimentación y la virada de la barra se efectuará manualmente.

A la salida del tren intermedio y al ejecutarse el último paso en el segundo STAND, la barra (desecho) es un perfil conformado, que luego es transportado por un camino de rodillos hacia la cama de enfriamiento de 2.5 mts de longitud. En esta sección los perfiles que salen al terminar la fase de laminación, son manipulados manualmente para formar un lote de un metro de ancho, para su gradual enfriamiento. Terminado el proceso de enfriamiento los perfiles son llevados hacia la cizalla en frío y cortados a las dimensiones comerciales para pasar luego a la fase de enderezado y finalmente a la bodega de productos terminados.

Una vez descrito el proceso de laminación en caliente, en forma convencional que permitirá recuperar desechos de laminación de palanquillas, paso a analizar de que elementos y equipos dispongo y es así que aprovechando la infraestructura existente en ANDEC, que dispone de un tren experimental de 1 STAND TRIO; tomo la decisión de diseñar un HORNO para calentamiento de estos desechos de palanquillas, con lo que el tren experimental pasará a ser de producción,

satisfaciendo la gran demanda de los actuales momentos, la cual es cubierta con la importación de los perfiles respectivos, como ya se ha mencionado anteriormente.

El diseño del horno y los diferentes parámetros que inciden en el diseño del mismo se analizarán en el siguiente capítulo.

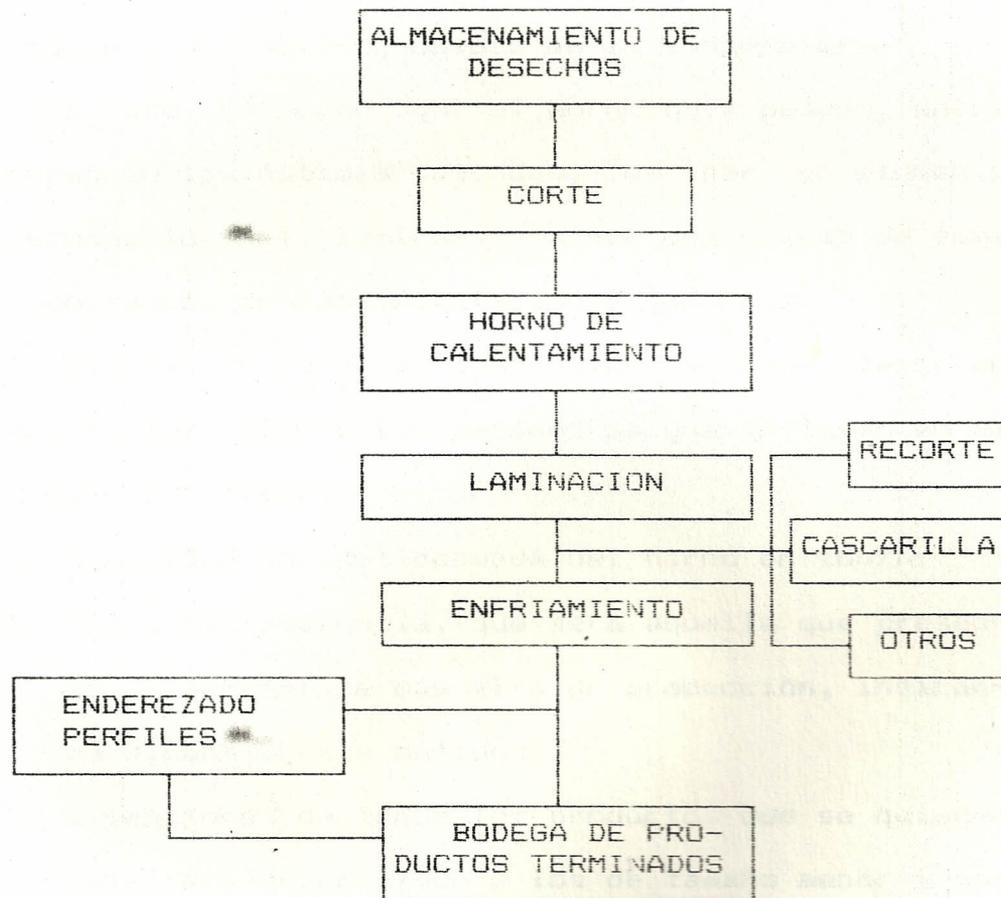


Fig. #3.- Diagrama de flujo del sistema de recuperación de desechos.

## CAPITULO III

### DISEÑO DEL HORNO

#### 3.1. FACTORES PRINCIPALES QUE INCIDEN EN EL DISEÑO

A pesar de que el horno representa, en general, ~~menos del 20% del valor de una planta de laminación,~~ de él puede provenir una gran parte de los problemas de la instalación, pues muchas veces, una rotura de cilindro puede ser debida a una zona fría de la pieza caliente, o una dificultad en el guiado se reduce a una heterogeneidad de la temperatura.

Todo esto ha hecho que el horno haya pasado, en el curso de las últimas décadas, de ser un elemento secundario en la laminación a ser una unidad de suma importancia en las instalaciones modernas.

Al diseñar un horno de laminación se debe tener en cuenta los siguientes parámetros que influyen en el diseño del mismo:

- a. Capacidad nominal deseada del horno en ton/hr.
- b. Pieza de referencia, que será aquella que presente un porcentaje más alto de producción, indicando dimensiones y calidad.
- c. Dimensiones de todos los productos que se quieren calentar, especialmente los de tamaño menor y máximo.
- d. Calidades del acero.
- e. Diferencia máxima de temperatura  $\Delta t$  entre superficies y entre piel y núcleo que se debe conse-

guir en la pieza deshornada.

- f. Temperatura de carga y temperatura de deshornamiento.
- g. Combustible o combustibles a emplearse.
- h. exigencias particulares y condiciones locales tales como forma de carga y descarga ya sea frontal o lateral; así, como si existe espacio disponible para la instalación del horno, incluyendo preferentemente plano de la zona de instalación y delimitando en el mismo el espacio disponible.

### 3.1.1. PRODUCCION DESEADA EN TON/HR

Para poder determinar la capacidad horaria de calentamiento del horno es necesario conocer lo siguiente:

- A) Horas de trabajo
  - B) Tiempo promedio de laminación
  - C) Capacidad máxima efectiva de laminación
- A. Horas de trabajo

Tiempo calendario:

$$365 \text{ días/año} \times 24 \text{ h/día} = 8760 \text{ h/año}$$

Reparaciones menores, tiempo de inactividad, paradas planificadas:

$$19 \text{ días/año} \times 24 \text{ hr/día} = 456 \text{ h/año}$$

Sábados y Domingos no trabajados:

$$96 \text{ días/año} \times 24 \text{ h/día} = 2304 \text{ h/año}$$

TIEMPO EFEC. OPERAC. = 8760 - 456 - 2304

= 6000 h/año

TIEMPO EFEC. OPER. POR TURNO = 2000 h/año

B. Tiempo promedio de laminación

Considerando el paso de una barra a través de los 2 STANDS de laminación (7 pasadas, cuadrado de 12 mm) a partir de recuperable de  $\phi$  42mm x 2 mts de longitud. Tabla #3.

F	A <sub>i</sub> mm <sup>2</sup>	A <sub>f</sub> mm <sup>2</sup>	% Reducción	L <sub>f</sub> mts	Tiem. L (seg)
1	1764	1197	32	2.94	0.8
2	1197	769	35.7	4.57	1.2
3	769	477	38	7.37	1.8
4	477	306	36	11.47	2.8
5	306	230	25	15.25	4.2
6	230	176	23	19.90	5.8
7	176	148	16	23.60	7.4

Tabla #3.- Tiempo promedio de laminación.

- Tiem. L. = Tiempo de laminación = 24 seg.

- Tiempo estimado para guiado manual de la barra en cada uno de

los pases = 26 seg.

- Tiempos muertos = 10 seg.

TOTAL = 60 seg.

TIEM.LAM.PROM.= 3600/60 = 60 recuperabl/hr

A continuación procedo a calcular el peso

del recuperable o pieza que se introduce en el horno para su calentamiento; para lo cual hago las siguientes consideraciones:

- El recuperable tendrá las dimensiones de  
\* 42 mm x 2 mts de longitud.

- El peso específico de la pieza o recuperable ~~oscila entre 7.4 y 7.8 T/m<sup>3</sup>~~. Tomaremos 7.5 T/m<sup>3</sup> para palanquilla de colada continua.

$$m = \rho V$$

$$m = 7.5 \text{ T/m}^3 * (42 \times 10^{-3} \text{ m} * 42 \times 10^{-3} \text{ m} * 2 \text{ m})$$

$$m = 7.5 \text{ T/m}^3 * 3.528 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m = 26.45 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$m = 26 \text{ Kg}$$

La capacidad teórica de laminación será:

$$\frac{60 * 0.026 \text{ T}}{1 \text{ h}} * \frac{6000 \text{ h}}{\text{año}} = 9360 \text{ T/año (3 tur.)}$$

Factor real de operación del 70%.

C. Capac. máx. efect. lamin. = 6552 T/año (3 t)

Capac. máx. efect. lamin. = 2184 T/año (1 t)

Considerando un coeficiente técnico de 1.075 establezco lo siguiente:

$$\text{Necesidades recuperable} = 6552 \text{ T/año} * 1.075$$

$$= 7043.4 \text{ T/año}$$

Aplicando la capacidad referida a un factor real de operación del 70% tengo que la capacidad teórica de calentamiento del

horno será:

$$7043.4 \text{ T/año} \times 100/70 = 10062 \text{ T/año (3 t)}$$

$$\text{CAP. HORARIA CALENT. HORNO} = 10062/6000$$

$$= 1.67 \text{ T/h}$$

1.67 T/h, capacidad horaria de calentamiento referida a una disposición máxima de recuperables y recortes en ANDEC.

### 3.1.2. DIMENSION DE LA MATERIA PRIMA A CALENTARSE

Con frecuencia son diversas las piezas a calentarse, pero como referencia elegí que la materia prima incluida sean recuperables de 37 y 42 mm y en contadas ocasiones retazos de producto terminado.

#### MATERIAL DE PARTIDA

- Sección cuadrada 37 mm x 37 mm = 1369 mm<sup>2</sup>

- Sección cuadrada 42 mm x 42 mm = 1764 mm<sup>2</sup>

Para calcular las longitudes iniciales aplico

la siguiente fórmula:

$$A_1 \times L_1 = A_f \times L_f$$

$A_1$  = Area inicial del material de partida

$A_f$  = Area final del producto terminado

$L_1$  = Longitud inicial del material de partida

$L_f$  = Longitud final del producto terminado

Para un cuadrado de 12 mm como producto

terminado y una sección cuadrada de 42 mm como material de partida tengo lo siguiente:

$$L_1 = \frac{A_r \times L_r}{A_1} = \frac{144 \text{ mm}^2 \times 23.6 \text{ mts}}{1764 \text{ mm}^2} = 1.92 \text{ mts}$$

$L_1 \cong 2 \text{ mts.}$

Para un cuadrado de 12 mm como producto terminado y una sección cuadrada de 37 mm como material de partida tengo lo siguiente:

$$L_1' = \frac{A_r \times L_r}{A_1} = \frac{144 \text{ mm}^2 \times 18.9 \text{ mts}}{1369 \text{ mm}^2} = 1.98 \text{ mts}$$

$L_1 \cong 2 \text{ mts.}$

Una vez determinadas las dimensiones de la materia prima a calentarse procedo a calcular las dimensiones del horno para un recuperable de  $\approx 42 \times 2300 \text{ mm}$  (asumi el de mayor sección y el de mayor longitud).

Calculo en primer lugar el número de piezas disponibles en el horno por medio de la siguiente fórmula:

$$\# \text{ piezas} = \# \text{ de piezas/h} \times t_c$$

en donde  $t_c$  = tiempo de calentamiento e igual a  $t_c = \tau e$ .

Siendo:  $\tau$   $\rightarrow$  velocidad de penetración o tiempo específico de penetración.

$e$   $\rightarrow$  espesor de la pieza.

De la figura 4, con un  $e = 4.2$  cm, obtengo un valor de  $\tau = 9.4$  min/cm.

De donde  $t_c = 9.4$  min/cm  $\times$  4.2 cm

$$t_c = 39.48 \text{ min}$$

Aplicando este valor de  $t_c$  obtenido en la formula tengo:

$$\# \text{ piezas} = 60 \text{ piezas/h} \times 39.48 \text{ min} \times 1\text{h}/60\text{min}$$

$$\# \text{ piezas} = 40$$

~~A continuación procedo a calcular la longitud~~  
útil del horno que será igual al número de piezas en el horno multiplicado por el espesor de la pieza; es decir:

$$L_{\text{util}} = \# \text{ de piezas} \times e$$

$$L_{\text{util}} = 40 \times 4.2 \text{ cm}$$

$$L_{\text{util}} = 168 \text{ cm} = 1.68 \text{ mts}$$

$$\begin{aligned} \text{Area req. por recup. o desecho} &= 0.042 \times 2.30 \\ &= 0.0966 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Área necesaria en la solera para una capa de recuperable} &= 0.96 \times 40 = 3.86 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Longitud máxima del recuperable} = 2.30 \text{ m}$$

El ancho del horno lo determino en 3 m, ya que la longitud útil es igual a 1.68 m con 40 recuperables, y en base al criterio de que con palanquillas muy próximas el calentamiento lateral es menos eficaz y pueden además interferirse las piezas entre sí, produciéndose problemas mecánicos.

En la figura #4 se puede ver la variación de los tiempos de calentamiento en hornos de empuje en función del espesor.

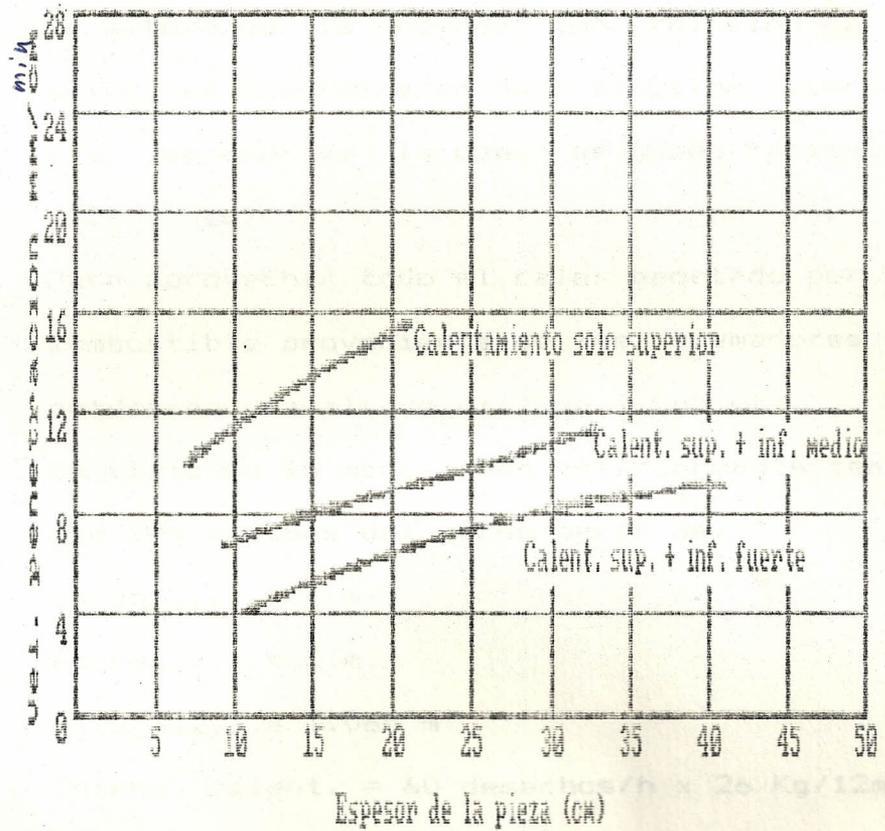


Fig. 4.- Tiempos de calentamiento en hornos de empuje en función del espesor.

El largo del horno se determina por consideraciones geométricas, basandose en la pieza más larga a calentar.

Se ha dicho anteriormente que la pieza más larga a calentar tiene una longitud de 2.3 m; pero para proyecciones futuras asumo una longitud útil de 4m (largo del horno).

La altura de la boveda con relación a la solera se determina en base al calor liberado y al espesor de la capa de gases radiantes ( $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Para aprovechar todo el calor aportado por el combustible proveniente de los quemadores se determina una altura útil de 1.065 mts.

En vista de lo mencionado anteriormente tengo que las medidas del horno serán de:

Largo<sub>útil</sub> = 4 m

Ancho<sub>útil</sub> = 3 m

Altura<sub>útil</sub> = 1.065 m

Intens. calent. = 60 desechos/h x 26 Kg/12m<sup>2</sup>

$I_c = 130 \text{ Kg/m}^2\text{h}$

Indice que determina el calentamiento del horno con fuego lateral directo, o la alternativa de calentamiento frontal (2 quemadores).

### 3.1.3. CALIDAD DEL MATERIAL

La materia prima básica de partida para la

producción proyectada corresponde a los desechos (34x34 mm o 42x42 mm) y recortes de producto terminado (32 mm) aptos para relaminar, de generación interna de ANDEC.

Las características de composición química de esta materia prima se ajustará a las especificaciones de la Norma SAE 1040 y 1030, con contenidos de carbono entre 0.28 a 0.34.

#### COMPOSICION QUIMICA DEL SAE 1040 (A-42)

C -----> 0.37 - 0.34 %

Mn -----> 0.60 - 0.90 %

P -----> 0.04 %

S -----> 0.05 %

#### COMPOSICION QUIMICA DEL SAE 1030 (A-28)

C -----> 0.28 - 0.34 %

Mn -----> 0.60 - 0.90 %

P -----> 0.04 %

S -----> 0.05 %

#### 3.1.4. TEMPERATURA DE LA CARGA

Considero la temperatura de la carga como la temperatura con que la materia prima entra al horno, es decir la temperatura con que la pieza entra al horno, la cual sería la temperatura ambiente, que asumo aproximadamente a 20°C.

#### 3.1.5. TEMPERATURA DE DESHORNAMIENTO

Llamo temperatura de deshornamiento a la

temperatura con que la pieza debe salir del horno, es decir a la temperatura de laminación.

En los hornos pequeños de este tipo, se producen tres zonas de aportación de calor.

Una zona de precalentamiento, donde el material, si entra a la temperatura ambiente, es calentado de manera convectiva hasta una temperatura del orden de 700°C por los gases de combustión procedentes de las otras zonas.

En la zona intermedia de gran aportación de calor, la superficie del material se lleva normalmente hasta una temperatura de 1150°C para el acero común. En la zona final de igualación de temperatura se consigue que la diferencia entre la temperatura del punto más caliente de la pieza y la del punto más frío ( $\Delta t$ ) este comprendida entre 20 y 50°C de forma que no se presente problemas para el tren de laminación tales como roturas de cilindros o dificultad en el guiado lo que induciría en el producto final laminado. En estas dos últimas zonas la transferencia de calor se realiza básicamente por radiación.

Resumiendo diremos que la temperatura de deshornamiento para un tren de laminación de 2 STANDS debe fluctuar entre 1150 y 1170°C.

3.1.6. DIFERENCIA MAXIMA ADMITIDA ENTRE LAS TEMPERATURAS DE LOS PUNTOS MAS CALIENTES Y MAS FRIOS DE LA PIEZA DESHORNADA

En la zona de igualación del horno se consigue un determinado  $\Delta T$  entre superficie y núcleo de la pieza. Sin embargo a la salida del horno y antes de entrar en la primera caja del tren transcurre un tiempo. Veamos que ocurre con las temperaturas de la pieza durante este tiempo.

El descenso de la temperatura superficial durante los primeros segundos depende del grado de oxidación, pero puede considerarse del orden de  $2^{\circ}\text{C}$  c/segundo para una pieza de 150 mm de espesor; pero para mi caso que es una pieza de 42 mm voy a considerar un descenso de  $4^{\circ}\text{C}$  c/segundo.

La temperatura del núcleo de piezas con espesor mayor de 100 mm no cambia durante los primeros minutos, pero en mi caso vamos a considerar que desciende  $0.5^{\circ}\text{C}$  c/segundo para una pieza de 42 mm.

Supongamos un tiempo de 20 seg entre la salida del horno y la entrada en el tren y un  $\Delta T$  en la zona de igualación del horno de  $30^{\circ}\text{C}$ . A la salida del horno tendremos:

Temperatura superficial:  $1150^{\circ}\text{C}$

Temperatura núcleo : 1120°C

Temperatura media : 1135°C

La situación después de los 20 segundos será:

Temperat. superficial :  $1150 - 4 \cdot 20 = 1070^\circ\text{C}$

Temperatura núcleo :  $1120 - .5 \cdot 20 = 1110^\circ\text{C}$

Temperatura media : = 1090°C

Descenso de temperatura media de:

$1135 - 1090 = 45^\circ\text{C}$  que es la cifra que realmente más importa a efectos de laminación.

La situación después de los 120 seg (2min) será:

Temperat. superficial :  $1150 - 4 \cdot 120 = 670^\circ\text{C}$

Temperatura núcleo :  $1120 - .5 \cdot 120 = 1060^\circ\text{C}$

Temperatura media : = 865°C

Descenso de temperatura media de:

$1135 - 865 = 270^\circ\text{C}$

De estos resultados puedo inferir que el tiempo máximo permitido una vez que la pieza abandona el horno es de 2 minutos, ya que un tiempo mayor produce un descenso mayor de temperatura con el consiguiente enfriamiento de la pieza, con lo cual es imposible que se pueda laminar posteriormente de acuerdo a parámetros establecidos.

### 3.1.7. COMBUSTIBLE

El combustible a utilizarse será el fuel-oil con un poder calorífico de alrededor de 9800 Kcal/Kg; en consecuencia el equipo de quemadores estará provisto con dispositivos de pulverizar el combustible y precalentamiento para reducir su viscosidad y medios para suministro de aire de atomización a presión y temperaturas convenientes.

Para el diseño del horno considero 4 quemadores colocados frontalmente 2 a cada lado de pared, con un consumo de 10 gal/hr para cada quemador. Tomado del cálculo calorífico.

$$c/\text{quemador} = 10 \text{ gal/hr}$$

$$4 \text{ quemadores} = 40 \text{ gal/hr}$$

Considero que el proceso de producción es de un turno de 8 horas, mas el tiempo de calentamiento de 4 horas con un solo quemador; por lo tanto el consumo de combustible será de 360 gal/día.

$$\begin{aligned} \text{Capacidad horaria de calentamiento del horno} \\ = 1.67 \text{ T/hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidad horaria de calentamiento del horno} \\ \text{en 8 horas} = 13.36 \text{ T/día.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cons. fuel-oil(gal/T)} &= \frac{360 \text{ gal/día}}{13.36 \text{ T/día}} \\ &= 26.9 \text{ gal/T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cons. fuel-oil (gal/mes)} &= 26.9 \text{ gal/T} * 280 \text{ T/mes} \\ &= 7532 \text{ gal/mes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cons. fuel-oil (m}^3\text{/mes)} &= 7532 \frac{\text{gal}}{\text{mes}} * 3.785 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{gal}} \\ &= 28.5 \text{ m}^3\text{/mes} \end{aligned}$$

Sugiero la construcción de un tanque de almacenamiento para un stock mínimo de 30 días, por lo que se construye un tanque de 28.5 m<sup>3</sup>.

$$\text{Capacidad (Kg)} = 28.5 \text{ m}^3 * 877 \text{ Kg/m}^3 = 25.018 \text{ Kg}$$

Conociendo el volumen procedo a calcular las dimensiones del tanque de almacenamiento.

Considerando un diámetro de 3 mts. según tabla #4 adjunta; las dimensiones alternativas de un tanque para una capacidad de 28.5 m<sup>3</sup> sería:

$$\text{Volumen} = (\pi D^2/4) * L$$

$$L = 4.04 \text{ m}$$

Capac. tanque gal	Ø (m) Tanque enterrado	Tanque Sobretierra
Hasta 1000	1 1/4	1 1/2
1000 a 3000	1 1/2	2
3000 a 6000	1 1/2	2 1/2
6000 a 12000	2	3
12000 a 25000	2 1/2	2 1/2

Tabla #4.- Dimensiones del tanque de almacenamiento en función del volumen.

### 3.1.8. EXIGENCIAS PARTICULARES Y CONDICIONES LOCALES

Una vez determinados los datos básicos del horno, es necesario proyectar su construcción de forma que resulte segura y rentable. Para ello es imprescindible tener en cuenta las exigencias técnicas; pero también resulta necesario tomar en consideración condiciones locales tales como:

- Posibilidad de acopios
- Formación del personal
- Experiencia del usuario

No resulta conveniente proyectar un horno solo a nivel de oficina técnica. Hay que conocer las condiciones locales en cuanto a personal, repuestos y mantenimiento. De nada sirve diseñar una instalación sofisticada que no puede operar a pleno rendimiento.

Especialmente en lo que se refiere a los equipos de regulación moderna, el personal de planta debe disponer del adiestramiento necesario para la operación con estos equipos.

Por razones obvias, conviene que la mayor parte posible de los materiales y equipos se fabriquen en el país de implantación del horno.

### 3.2. CALCULO TERMOTECNICO PRODUCIDO EN EL HORNO

Para realizar un balance térmico sobre el horno, es necesario conocer la distribución del calor en el mismo.

Para una clara comprensión de la distribución de calor en un horno simple me referire a la figura #5.

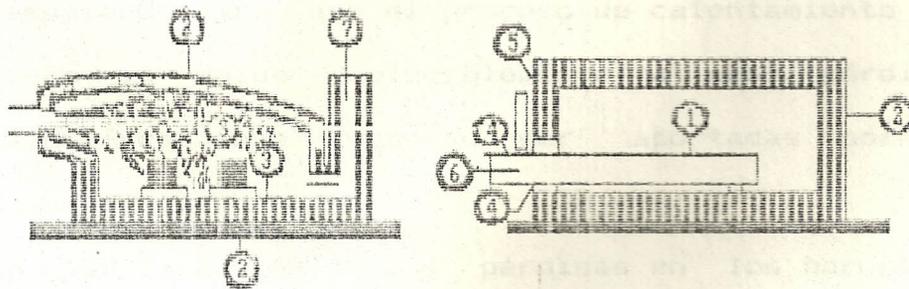


Figura #5.- Flujo calorífico en un horno.

La mayor parte del calor se libera en la zona de combustión a la izquierda y se desplaza, de allí, a la derecha. El paso de calor a la carga se indica por la flecha 1. Pero el calor se desplaza en todas direcciones; algo pasa a través de las paredes del horno y a través de la solera, como se indica en la flecha 3, incrementando la temperatura de estas partes. Otra porción se pierde en el ambiente por radiación y convección desde la superficie exterior de las paredes o por conducción al suelo (flecha 2). Se transmite calor por radiación a través de grietas u otras aberturas (flecha 4); los gases del horno salen por la puerta 5, frecuentemente, quemándose al aire libre y llevando calor. Se pierde calor cada vez que se abre una puerta. Finalmente, sale calor con los productos de combustión 7, ya sea en forma de calor sensible o en forma de calor no desarrollado de los combustibles que escapan sin quemar (combustión incompleta).

Resumiendo dire que el proceso de calentamiento del acero va unido ineludiblemente a unas pérdidas caloríficas que deberán ser aportadas por el combustible.

La clasificación de las pérdidas en los hornos de calentamiento para laminación se presentan a continuación y son:

a. Pérdidas por las paredes, incluyendo las produci-

das por el almacenamiento de calor.

- b. Pérdidas por radiación.
- c. Pérdidas de gases del horno por las puertas y aberturas.
- d. Calor sensible perdido en los productos de combustión.

### 3.2.1. CALOR APORTADO AL ACERO

Se define también como calor útil y es el que se debe aportar para cumplir la finalidad prevista, en este caso, para calentar el acero desde la temperatura de enfriamiento hasta la de laminación y aplica la siguiente fórmula:

$$Q_u = P (E_1 - E_a) \text{ Kcal/hr}$$

P = Producción estimada en Kg/hr = 1670 Kg/hr

$E_1$  = Entalpía del acero a la temperatura de laminación 1150°C

$E_a$  = Entalpía del acero a la temperatura de carga 20°C ( $T_{\text{ambiente}}$ ).

Según figura #6, encuentro los valores de  $E_1$  y  $E_a$  los cuales son:

$$E_1 = 198 \text{ Kcal/Kg}$$

$$E_a = 2 \text{ Kcal/Kg}$$

Reemplazando estos valores en la fórmula general tengo:

$$Q_u = 1670 \text{ Kg} (198 - 2) \text{ Kcal/Kg}$$

$$Q_u = 327320 \text{ Kcal/h}$$

El calor útil también se puede calcular según la fórmula:

$$Q_u = P (C_1 T_1 - C_a T_a) \text{ Kcal/h}$$

$$Q_u = \text{Calor útil [Kcal/h]}$$

$$P = \text{Producción estimada} = 1670 \text{ Kg/h}$$

$$T_1 = \text{Temperatura de laminación} = 1150^\circ\text{C}$$

$$T_a = \text{Temperatura de carga} = T_{\text{amb.}} = 20^\circ\text{C}$$

$$C_1 = 0.172 \text{ a } 1150^\circ\text{C}$$

$$C_a = 0.106 \text{ a } 20^\circ\text{C}$$

Aplicando la fórmula tenemos:

$$Q_u = 327320 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_u = (327320 \text{ Kcal/h})(8 \text{ h/día})$$

$$Q_u = 2'618560 \text{ Kcal/día}$$

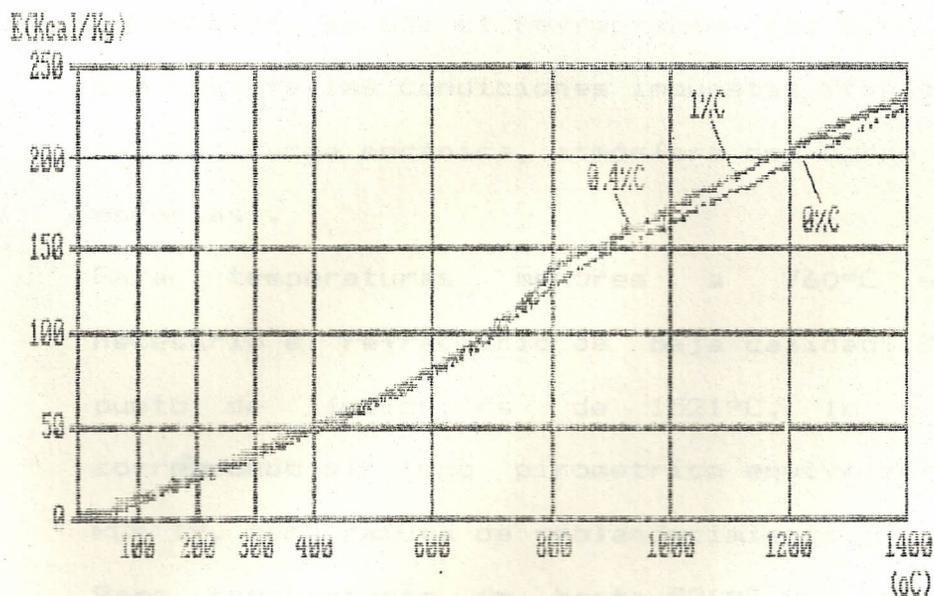


Fig. 6.- Entalpía del hierro y el acero

### 3.2.2. PERDIDAS POR LAS PAREDES, INCLUYENDO LAS PRODUCIDAS POR EL ALMACENAMIENTO DE CALOR

Para poder calcular las pérdidas producidas por las paredes, es necesario conocer la clase de refractario que se va a utilizar para formar las paredes y las dimensiones correspondientes de los mismos.

Los materiales refractarios constituyen la parte de una instalación de horno de recalentamiento sometida a mayores sollicitaciones termomecánicas.

El horno (paredes, bóveda y solera) deben construirse con materiales rígidos y resistentes a la temperatura del horno y que sean malos conductores del calor. Salvo pocas excepciones los refractarios son óxidos. Por lo general, se usa el refractario más barato que resista las condiciones impuestas (temperatura, carga mecánica, atmósfera del horno y escorias).

Para temperaturas menores a  $760^{\circ}\text{C}$  es necesario el refractario de baja calidad. Su punto de fusión es de  $1521^{\circ}\text{C}$ , lo que corresponde al cono pirométrico equivalente PCE 19, temperatura de reblandecimiento.

Para temperaturas de hasta  $926^{\circ}\text{C}$  convienen los refractarios de calidad media. Su punto

de fusión está entre 1595 y 1614°C y su rango 26 y 28 PCE.

Para temperaturas de horno siempre superiores a la carga, hasta 1204°C, se utiliza ladrillos de calidad intermedia. Estos ladrillos tienen un PCE entre 28 y 31, lo que da un rango entre 1614 y 1680°C.

En hornos modernos se encuentran temperaturas hasta 1371°C por lo que son necesarios ladrillos de alta calidad, generalmente silicoaluminosos, compuestos básicamente por Alumina  $Al_2O_3$  y Silice  $SiO_2$ , siendo su punto de fusión entre 1680 y 1744°C, con un PCE 31 a 33. Para proyecciones futuras se escoge este tipo de refractario.

La temperatura de fusión de los refractarios es muy superior a la temperatura máxima del horno, y la razón es que los refractarios se reblandean y ceden bajo cargas, a temperaturas varios cientos de grados por debajo de su punto de fusión.

Para el diseño de el horno, se siguen normas establecidas de refractarios y aislantes que se utilizan en la construcción de hornos.

#### A. Solera

En la parte superior de los ladrillos de aislamiento, la solera se forma de 2

hileras de ladrillo puesto de canto, de la calidad DIDIER 140 y con una hilera superior de ladrillos puestos de canto de la calidad FORISTAL 452.

Las características principales de estos ladrillos son a continuación:

LADRILLO REFRACTARIO FORISTAL 452

Análisis químico: 57% MgO; 8%CrO<sub>3</sub> y 8% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Densidad aparente: 2.80 g/cm<sup>3</sup>

Porosidad abierta: 20% vol.

Resistencia a la compresión en frío: 43 N/mm<sup>2</sup>

Refractariedad bajo carga: 1650°C

Dilatación térmica (lineal): 1.5% a 1400°C

Conduc. térmica: 65.4 Kcal/m-h-°C a 1100°C

LADRILLO AISLANTE DIDIER 140

Clasificación: A25P

Análisis químico: 30% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y 63% SiO<sub>2</sub>

Densidad aparente: 1.97 g/cm<sup>3</sup>

Porosidad abierta: 20% vol.

Resistencia a la compresión en frío: 25 N/mm<sup>2</sup>

Refractariedad bajo carga: 1320°C

Dilatación térmica (lineal): 0.7% a 1400°C

Conductibilidad térmica: 41.32 Kcal/m-h-°C a 1100 °C.

## B. Paredes

Se forma con una hilera de ladrillo de la calidad DIDIER-NOVA 220 y ladrillo aislante ligero.

LADRILLO REFRACTARIO DIDIER-NOVA 220

Clasificación: A35h

Análisis químico: 40%  $Al_2O_3$  y 54%  $SiO_2$

Densidad aparente: 2.17 g/cm<sup>3</sup>

Porosidad abierta: 18% vol.

Resistencia a la compresión en frío: 35 N/mm<sup>2</sup>

Refractariedad bajo carga: 1410°C

Dilatación térmica (lineal): 0.75 a 1400°C

Conductibilidad térmica: 48.2 Kcal/m-h-°C a 1100°C.

## C. Boveda

Para la boveda uso el ladrillo curvo de la calidad MAXIAL 320 cuyas características son a continuación:

Clasificación: A35t

Análisis químico: 40%  $Al_2O_3$ ; 54%  $SiO_2$  y 1.8%  $Fe_2O_3$

Densidad aparente: 2.20 g/cm<sup>3</sup>

Porosidad abierta: 17% vol.

Resistencia a la compresión en frío: 35 N/mm<sup>2</sup>

Refractariedad bajo carga: 1450°C

Dilatación térmica (lineal): 0.8% a 1400°C  
 Conduct. térmica: 48.2 Kcal/m-h-°C.

Una vez conocidos las clases de refractarios, refractarios aislantes y aislantes que se utilizaran en el recubrimiento interior de la solera, paredes y bóveda procedo a calcular las pérdidas de calor que se producen en cada una de ellas. (Ver plano #1)

PAREDES

Calculo la cantidad de calor transmitido por hora a través de una pared de este horno construido con ladrillos refractarios DIDIER NOVA 220 de 250 mm (9.84") de espesor y ladrillo aislante ligero de 250 mm (9.84") de espesor. Ver figura #7.

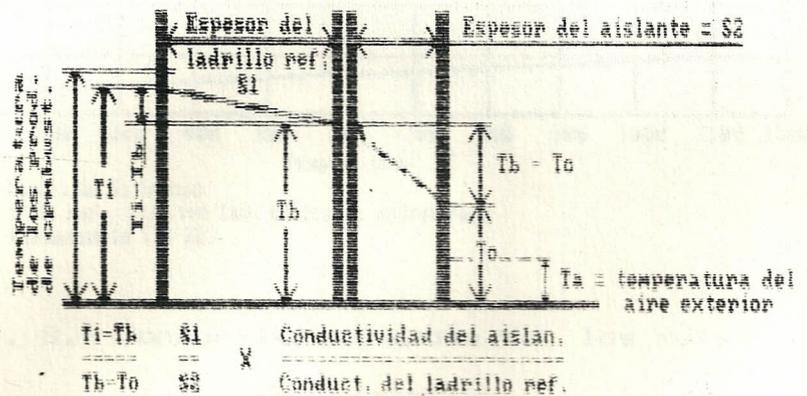


Fig. #7.- Gradiente de temperaturas para flujo calorífico en régimen permanente a través de una pared compuesta, con presiones iguales a ambos lados de la pared.

$T_i$  (Temperatura interior de la pared) =  
1200°C

$T_a$  (Temperatura del aire exterior) = 15°C

Se hace una primera estimación de las temperaturas probables  $T_b$  y  $T_c$  y se calcula la transmisión de calor real con los valores de la conductividad térmica correspondiente a la gama de temperatura estimada.

Para la primera prueba estimo  $T_b = 1050^\circ\text{C}$  y  $T_c = 80^\circ\text{C}$ .

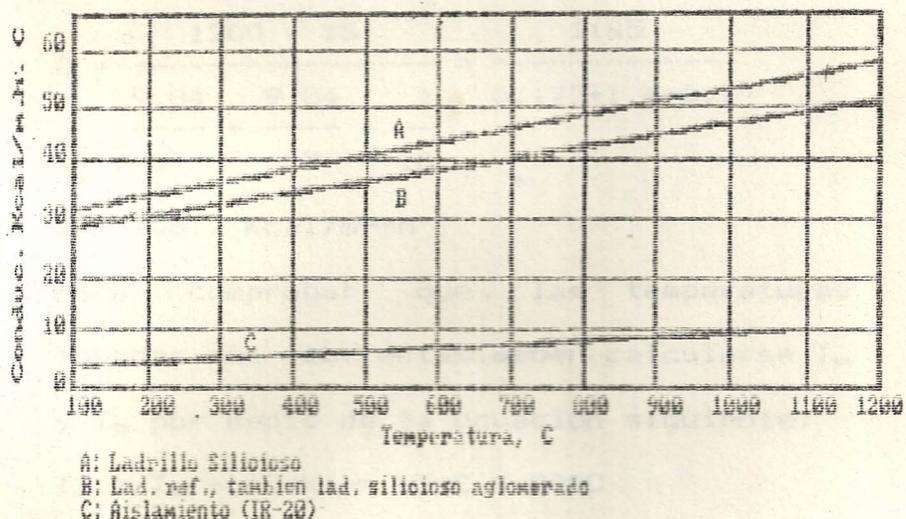


Fig. 8.- Conductividad media de los materiales refractarios.

De la fig. 8, deduzco que la conductividad media del ladrillo refractario para la gama de temperatura entre 1200°C y 1050°C ( $T_{media} = 1125^\circ\text{C}$ ) es 1.06540.

$$C_1 = 57 \text{ Kcal/m-h-}^\circ\text{C.}$$

De la misma figura se deduce que la conductividad media del ladrillo aislante de FUNASA para la gama de temperatura entre 1050°C y 80°C ( $T_o \text{ media} = 565^\circ\text{C}$ ) es  $C_2 = 7 \text{ Kcal/m-h-}^\circ\text{C.}$

$K =$  coeficiente de transmisión de calor = 10 Kcal/m<sup>2</sup>-h-°C a 55°C, aplicando la fórmula:

$$Q = \frac{T_1 - T_a}{\frac{S_1}{C_1} + \frac{S_2}{C_2} + \frac{1}{K}}$$

$$Q = \frac{1200 - 15}{\frac{9.84}{57} + \frac{9.84}{7} + \frac{1}{10}} = \frac{1185}{0.172 + 1.4 + 0.1}$$

$$Q = 708.7 \text{ Kcal/m}^2\text{-h}$$

Para comprobar que las temperaturas tomadas son correctas deben calcularse  $T_o$  y  $T_b$  por medio de la ecuación siguiente:

$$T_o = T_a + (Q/K) = 85^\circ\text{C} \cong 80^\circ\text{C}$$

$$T_b = T_1 - (QS_1/C_1) = 1077^\circ\text{C} \cong 1050^\circ\text{C}$$

A continuación procedo a calcular el área de las paredes laterales y de los extremos (frontal y posterior).

ESPESOR DE LAS PAREDES = 500 mm

AREA DE LAS PAREDES

$$\text{Paredes laterales} = 2(1.065 + 0.365)(4 + 0.5)$$

$$= 13.05 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Paredes extremos} &= 2(1.065+0.385)(3+0.5) \\ &= 10.15 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{AREA TOTAL} = 23.20 \text{ m}^2$$

$$\text{PERDIDA} = Q \times A$$

$$\text{PERDIDA} = (708.7 \text{ Kcal/m}^2\text{-h})(23.20 \text{ m}^2)$$

$$\text{PERDIDA POR PAREDES} = 16441.8 \text{ Kcal/h}$$

TRANSFERENCIA DE CALOR A TRAVES DE LA BOVEDA

$$T_1 = 1200^\circ\text{C}$$

$$T_a = 15^\circ\text{C}$$

$$T_b = 1000^\circ\text{C (asumida)}$$

$$T_o = 95^\circ\text{C (asumida)}$$

$$C_1, \text{ conduct. del refractario a } 1100^\circ\text{C} = 65.5 \text{ Kcal/m}^2\text{-}^\circ\text{C-h}$$

$$C_2, \text{ conductividad del aislante a } 547.5^\circ\text{C} = 7 \text{ Kcal/m}^2\text{-}^\circ\text{C-h}$$

$$K = 12 \text{ Kcal/m}^2\text{-}^\circ\text{C-h a } 80^\circ\text{C}$$

$$S_1 = 9.84" \text{ (espesor del refractario)}$$

$$S_2 = 5.31" \text{ (espesor del aislante)}$$

$$Q = \frac{T_1 - T_a}{\frac{S_1}{C_1} + \frac{S_2}{C_2} + \frac{1}{K}}$$

$$Q = \frac{1200 - 15}{\frac{9.84}{65.5} + \frac{5.31}{7} + \frac{1}{12}} = \frac{1185}{0.174+0.75+0.08}$$

$$Q = 1170 \text{ Kcal/m}^2\text{-h}$$

$$T_o = T_a + (Q/K) = 112^{\circ}\text{C} \approx 95^{\circ}\text{C}$$

$$T_b = T_i - (QS_1/C_1) = 996^{\circ}\text{C} \approx 1000^{\circ}\text{C}$$

AREA DE LA BOVEDA

$$\text{Espesor de la boveda} = 385 \text{ mm}$$

$$A = (3+0.5)(4+0.5)$$

$$A = 3.5 + 4.5 = 15.75 \text{ m}^2$$

~~$$A_{\text{boveda}} = 15.75 \text{ m}^2$$~~

$$\text{Pérdida por boveda} = Q \times A$$

$$\text{Pérdida boveda} = (1170 \text{ Kcal/m}^2\text{-h})(15.75 \text{ m}^2)$$

$$\text{Pérdida boveda} = 18427.5 \text{ Kcal/h}$$

Pérdida de calor a través de la solera

$$\text{Espesor de la solera} = 590 \text{ mm}$$

AREA DE LA SOLERA

$$A_{\text{solera}} = (3+0.5)(4+0.5)$$

$$A_{\text{solera}} = 15.75 \text{ m}^2$$

La transferencia de calor se tomará como el 90% de lo que se produce en una pared libremente expuesta.

Siendo la transferencia de calor en la pared de  $708.7 \text{ Kcal/m}^2\text{-h}$ , tengo lo siguiente:

$$\text{PERD. SOL.} = 90\%(708.7 \text{ Kcal/m}^2\text{-h})(15.75 \text{ m}^2)$$

$$\text{PERD. SOL.} = 10045.8 \text{ Kcal/h}$$

La relación entre la pérdida por almacenamiento del calor, más la pérdida por radiación y convección durante el tiempo de trabajo de 8h, más el tiempo de

calentamiento y las pérdidas por radiación y convección (solamente) en 8h, si las condiciones permanentes de temperatura se consiguen, es de 4 para la boveda de 385 mm; 5 para la pared de 500 mm y 6 para la solera de 590 mm.

PAREDES --> (5)(16441.8 Kcal/h)(8h/día)

$$= 657672.0 \text{ Kcal/día}$$

BOVEDA ---> (4)(18427.0 Kcal/h)(8h/día)

$$= 589664.0 \text{ Kcal/día}$$

SOLERA ---> (6)(10045.8 Kcal/h)(8h/día)

$$= 482198.0 \text{ Kcal/día}$$

TOTAL ----> = 1'729534.0 Kcal/día

### 3.2.3. PERDIDAS DE CALOR POR RADIACION A TRAVES DE ABERTURAS

Si consido que tengo 2 puertas que se abren a una altura de 200 mm, durante el 50% del tiempo cada una, es decir, mientras se abre una puerta la otra permanece cerrada y viceversa; es decir, todo el tiempo está abierta una puerta.

$$\text{Relación} = \frac{\text{abertura de la puerta}}{\text{espesor de la pared}} = \frac{D}{X} = \frac{200}{500} = 0.4$$

De la figura 9, obtenemos que el factor de reducción total es aproximadamente 0.37.

De la figura 10 se determina que la pérdida de calor a través de la abertura es de 212000 Kcal/m<sup>2</sup>-h.

Para calcular las pérdidas totales por radiación a través de aberturas aplico la siguiente fórmula:

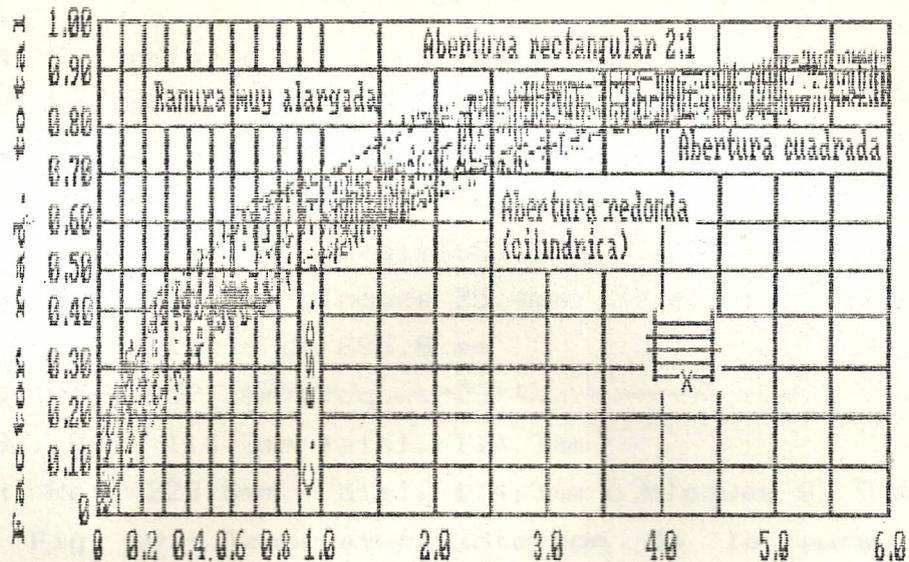
Pérdidas de

radiación por

$$\text{aberturas} = (Q_{\text{abertura}})(\text{Area})(F_{\text{radiación}})$$

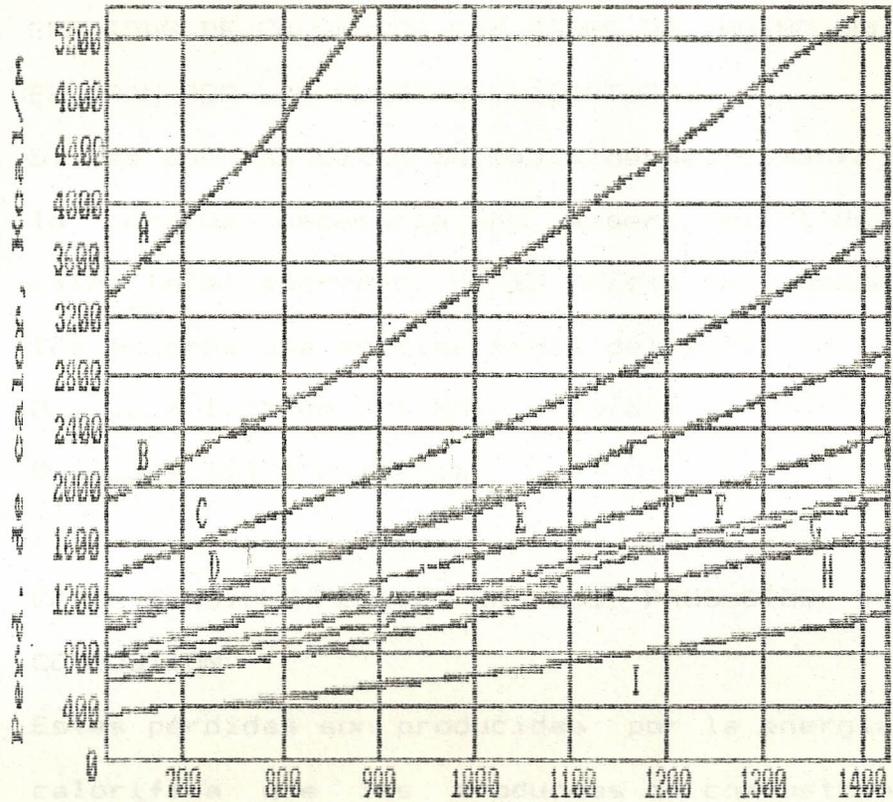
$$Q_{\text{rad.}} = 212000 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2\text{-h}} \cdot [(1.22)(0.2)] \text{m}^2 (0.37) (8 \frac{\text{h}}{\text{día}})$$

$$Q_{\text{rad.}} = 153115 \text{ Kcal/día}$$



$$\text{Relacion} = \frac{\text{diametro o ancho minimo}}{\text{espesor de la pared}} = \frac{D}{X}$$

Fig. 9.- Radiación a través de aberturas de forma diversa, expresada como fracción de la radiación de una superficie libremente expuesta que tenga la misma superficie que la sección transversal de la abertura.



- A: Refractario de 114.3 mm; I: Ref. 114.3mm\*
- B: Refractario de 228.6 mm
- C: Refractario de 342.9 mm
- D: Refractario de 457.2 mm
- D1: Ref. de 114.3mm+aisl.63.5mm
- E: Ref. 342.9mm+bloques 25.4mm
- F: Refractario de 685.8 mm
- G: Ref. 457.2mm+bloques 25.4mm
- G1: Ref. 114.3mm +aisl. 114.3mm
- H: Ref. 228.6mm + aisl. 114.3mm o bloques 63.5 mm

Fig. 10.- Temperatura interior de la pared  
(para presión atmosférica en el  
horno).

\* Multiplicar la ordenada por 10.

### 3.2.4. PERDIDAS DE CALOR POR LOS GASES DEL HORNO QUE ESCAPAN POR LAS PUERTAS Y ABERTURAS

Si las puertas están montadas herméticamente, la pérdida necesaria no supera el 2% del calor total aportado a la pieza, estimando los autores una pérdida media del 1.2%.

$$Q_{\text{gases}} = 1.2\% \text{ de } 2'618560 \text{ Kcal/día}$$

$$Q_{\text{gases}} = 31423 \text{ Kcal/día}$$

### 3.2.5. CALOR SENSIBLE PERDIDO EN LOS PRODUCTOS DE COMBUSTION

Estas pérdidas son producidas por la energía calorífica que los productos de combustión sacan del horno, ya sea en forma potencial como combustible sin quemar, o en forma cinética como calor sensible. Se define por la siguiente fórmula.

$$Q_s = Q_c - Q_t \quad (1)$$

$Q_c$  -> Calor que se aporta para la combustión

$Q_t$  -> Es igual a la suma del calor útil más las pérdidas de calor producidas ya sea por paredes, por radiación a través de aberturas y otras pérdidas menores; es decir,

$$Q_t = Q_u + Q_p + Q_r + Q_g \quad (2)$$

Calor útil  $Q_u = 2'618560 \text{ Kcal/día}$  ( $Q_u$ )

Per. paredes =  $1'729534 \text{ Kcal/día}$  ( $Q_p$ )

Per. radiación =  $153115 \text{ Kcal/día}$  ( $Q_r$ )

Per. por gases = 31423 Kcal/día ( $Q_g$ )

CALOR TOTAL  $Q_c = 4'532632$  Kcal/día (3)

Para calcular el calor que deberá aportar el combustible necesitamos en primer lugar, calcular el rendimiento térmico de la combustión sin recuperador.

$$\eta = \frac{Q_{comb.} + Q_{aire} - Q_{humos}}{Q_{combustib.}} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{PCI + V_a E_a - V_h E_h}{PCI} \quad (5)$$

PCI = Poder calorífico inferior del combustible en Kcal/Kg = 9800 Kcal/Kg

$V_a$  y  $V_h$  = Volúmenes de los fluidos (aire y humos) en  $Nm^3/Kg$

$E_a$  y  $E_h$  = Entalpía de los fluidos a sus temperaturas respectivas, en Kcal/ $Nm^3$

De la figura # 11 obtenemos:

$$V_h = 12.4 \text{ Nm}^3/\text{Kg} \quad (6)$$

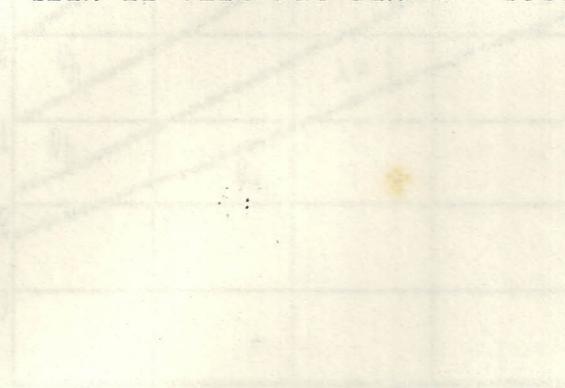
De la tabla #5, obtenemos la entalpía de los humos  $E_h$ , sabiendo que la temperatura de los humos al final del horno es de 1200°C.

$$E_h = 448 \text{ Kcal}/\text{Nm}^3 \quad (7)$$

Con aire de combustión a 20°C no consideraremos la entalpía de dicho aire, por lo que

TEMPERATURA DE HUMOS (°C)	E N T A L P I A	
	Kcal/Nm <sup>3</sup>	KJ/Nm <sup>3</sup>
500	172	720
600	209	874
700	247	1073
800	286	1197
900	325	1360
1000	365	1527
1100	406	1699
1200	448	1872

Tabla #5.- Entalpía de los humos de combustión de fuel-oil con  $\lambda = 1.1$ .



resulta, sin recuperador:

$$\eta = \frac{9800 \text{ Kcal/Kg} - (12.4 \text{ Nm}^3)(448 \text{ Kcal/Nm}^3)}{9800 \text{ Kcal/Kg}}$$

$$\eta = \frac{9800 \text{ Kcal/Kg} - 5555 \text{ Kcal/Kg}}{9800 \text{ Kcal/Kg}}$$

$$\eta = 0.43$$

El calor que deberá aportar el combustible será:

$$Q_c = \frac{Q_e}{\eta} = \frac{4'532632}{0.43} = 10'541004 \text{ Kcal/día}$$

$$Q_c = 10'541004 \text{ Kcal/día}$$

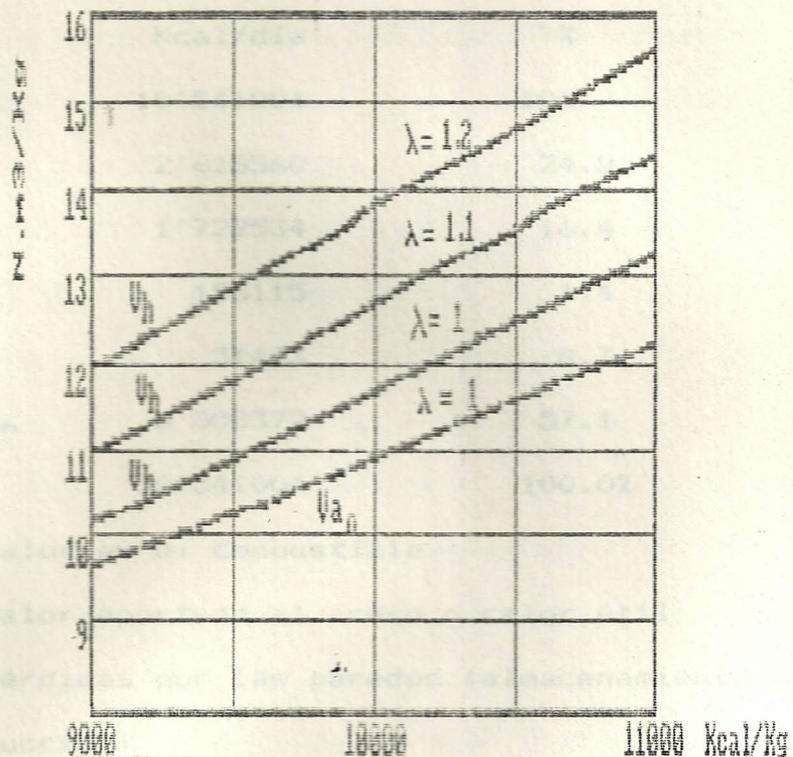


Fig. 11. Caudales de aire teórico  $V_a$  y humos  $V_h$  para fuel-oil en función del PCI y del coeficiente de exceso de aire.

Con lo que el consumo específico será:

$$C_{\text{esp.}} = \frac{10'541004 \text{ Kcal/día}}{13360 \text{ Kg/día}} = 789 \text{ Kcal/Kg}$$

Reemplazando los valores de  $Q_c$  y  $Q_t$  obtenidos en la fórmula 1, obtenemos el calor sensible perdido en los productos de combustión.

$$Q_s = (10'541004 - 4'532632) \text{ Kcal/día}$$

$$Q_s = 6'008372 \text{ Kcal/día}$$

Para comprobación de los resultados obtenidos concluyo este capítulo mediante un balance térmico.

#### BALANCE TERMICO

	Kcal/día	%
$Q_c$	10'541004	100
$Q_u$	2'618560	24.8
$Q_p$	1'729534	16.4
$Q_R$	153115	1.4
$Q_G$	31423	0.3
$Q_s = Q_h$	6'008372	57.1
	10'541004	100.0%

$Q_c$  = Calor en el combustible

$Q_u$  = Calor aportado al acero o calor útil

$Q_p$  = Pérdidas por las paredes (almacenamiento y conducción)

$Q_R$  = Perd. por rad. a través de aberturas

$Q_G$  = Pérdidas por gases

$Q_s = Q_h$  = Pérdidas por humos

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la actualidad se encuentra en funcionamiento el tren de laminación de 2 STANDS TRIO para producción de barras cuadradas y platinas, el cual solamente se lo utiliza aproximadamente 6 meses en el año para una producción promedio de 1100 Ton año en un solo turno de 8 horas diarias comprendida de lunes a viernes.

Es de anotar que la utilización limitada del tren se debe a que no se produce suficiente recuperable en el año como estaba previsto, ya que disminuye el estandar de producción anual del tren laminador de 10 STANDS.

El horno diseñado y construido en ANDEC, en los actuales momentos se encuentra funcionando con los resultados previstos, con una ligera diferencia en cuanto al rendimiento teórico calculado, ya que el rendimiento actual es de 1 T/h, debido a lo siguiente:

- a. Tiempo promedio de laminación elevado, debido a que se toman demasiado tiempo en el guiado manual de la barra, lo que trae como consecuencia el peso de menos recuperables por hora, lo cual repercute en la capacidad horaria de calentamiento del horno.
- b. Paredes gruesas de refractarios aislantes, lo que incide en una mayor pérdida de calor por las paredes, trayendo como consecuencia una mayor aportación de calor por parte del combustible (desperdicio de energía), lo que ocasiona una disminución en el

rendimiento térmico del horno.

- c. La mayor parte de las pérdidas esta constituida por el calor sensible de los humos, que son las pérdidas que se producen por la energía calorífica que los productos de combustión sacan del horno, ya sea en forma potencial, como combustible sin quemar, o en forma cinética como calor sensible, siendo estas pérdidas de calor demasiado elevadas, no se la aprovecha y todo este calor es perdido al exterior, lo que ocasiona una disminución en el rendimiento térmico global del horno.

Para mejorar la capacidad horaria de calentamiento del horno y el rendimiento del mismo y que se pueda cumplir con todas las finalidades previstas. Recomiendo lo siguiente:

- a. Disminuir el tiempo de guiado manual de la barra, lo que haría aumentar el paso de recuperables por hora, con el consiguiente mejoramiento de la capacidad horaria del horno.
- b. Al reducirse el espesor de las paredes, baja sensiblemente el calor acumulado en la pared, por lo que la flexibilidad del horno es bastante mayor y se reduce en gran manera el tiempo para lograr la temperatura requerida partiendo de horno frío.

Sin cálculo resulta evidente, que cuando existen cortos periodos de funcionamiento y grandes periodos de parada, es preferible utilizar paredes delgadas de

refractarios aislantes porque se almacena en ellos poco calor. Si un horno funciona conectado 24 horas cada 3 días, se pierde prácticamente todo el calor almacenado en el refractario; pero si el horno está funcionando 8 horas por día, no se disipa todo el calor almacenado en el refractario.

- c. La gran cantidad de calor perdido por los humos justifica que se realice el máximo esfuerzo en estudiar la forma de recuperarlo de manera directa o indirecta. La forma directa es mediante recuperador de calor que se utiliza para precalentar el aire de combustión, alcanzándose temperaturas de hasta 650°C. Con la utilización del recuperador, estas pérdidas se reducen hasta aproximadamente un 30%.

Fig. 12.- Horn experimental (antiguo) con un solo horno

TR10

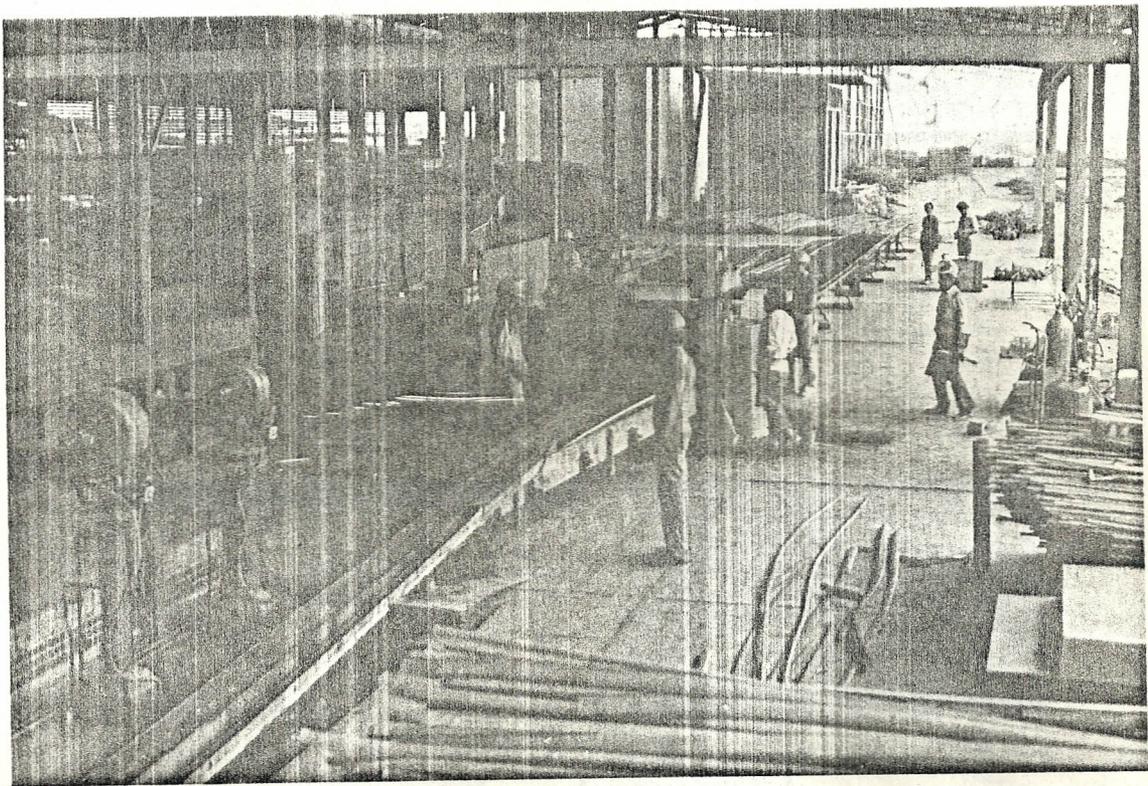


Fig. # 12.- Tren experimental (antiguo) con un solo STAND  
TRIO

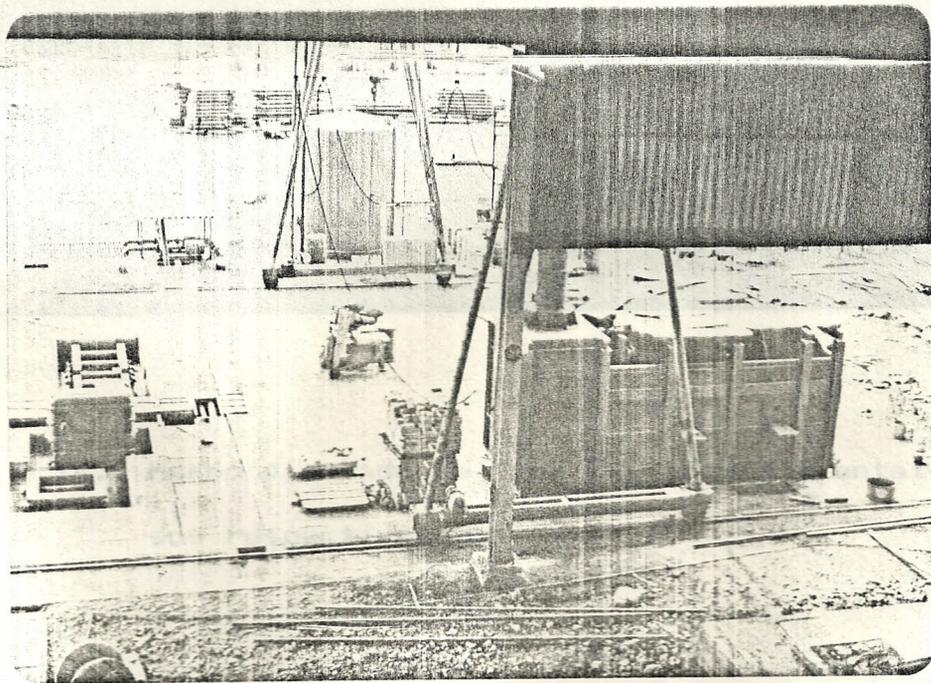
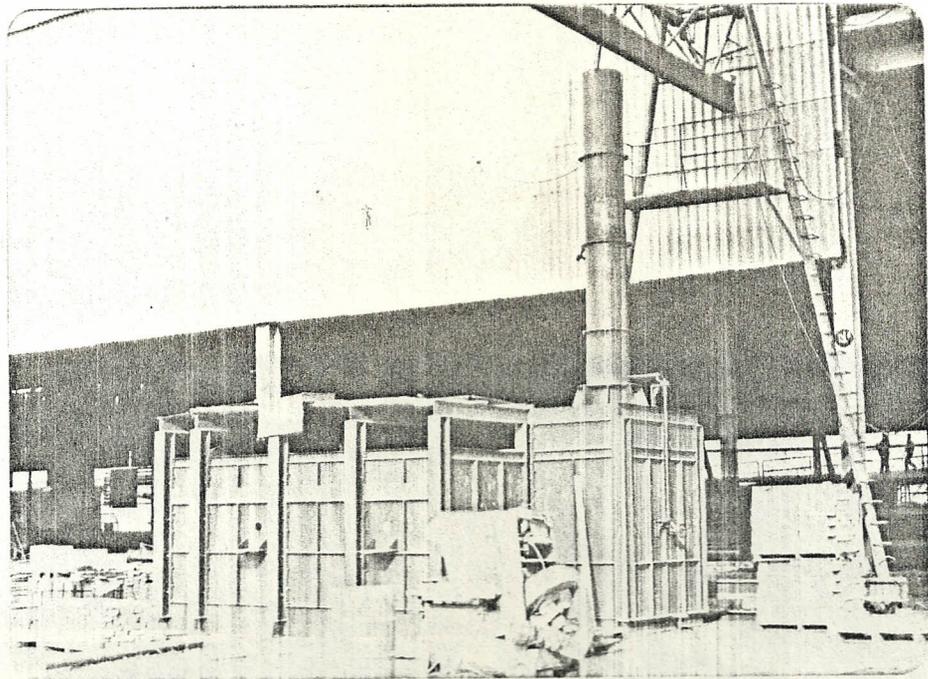


Fig. # 13.- Horno diseñado para recuperar desecho de pa-  
lanquilla en proceso de construcción.

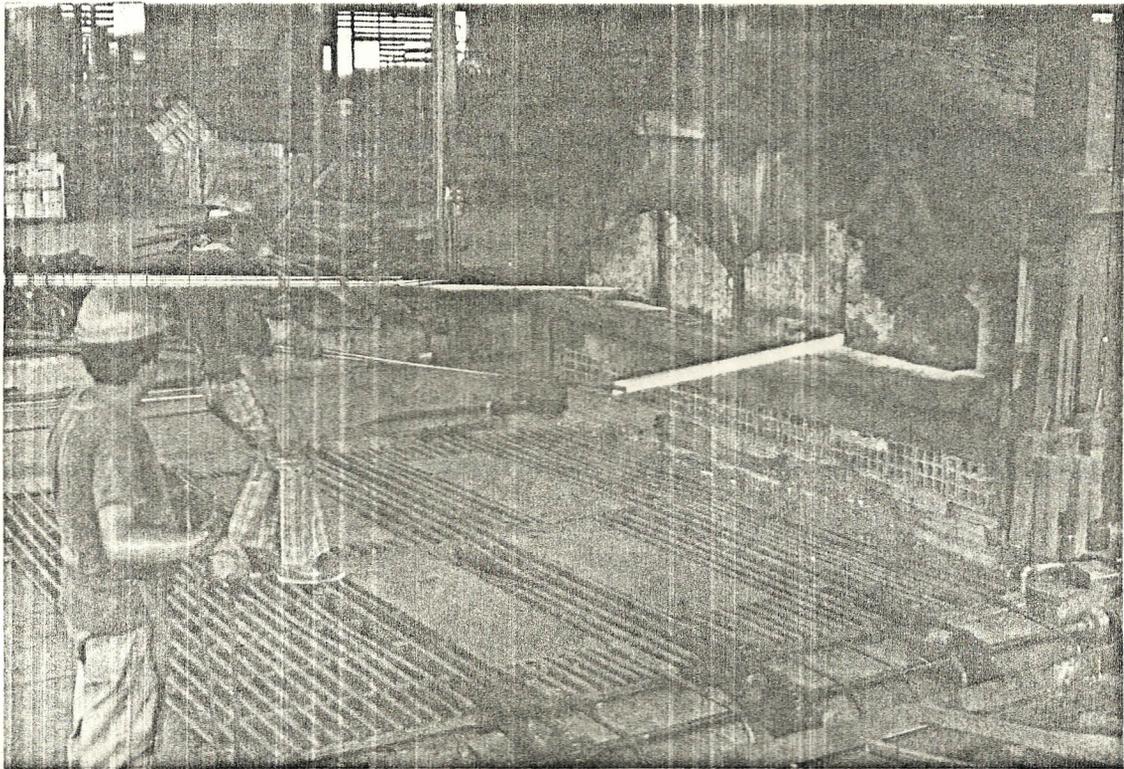


Fig. # 14.- Horno diseñado de 1.67 T/h (Vista frontal con sus respectivas puertas).

BIBLIOGRAFIA

1.- R. Lecuona, HORNOS DE RECALENTAMIENTO PARA INSTALACIONES DE LAMINACION.

2.- W. Trinks y M.H. Mawhinney, HORNOS INDUSTRIALES, Vol. 1.

