



---

---

# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

RESIDENCIA PROFESIONAL

*“DISEÑO DE UN HORNO ECOLÓGICO PARA FABRICAR LADRILLOS”*

PRESENTA:

*ALEJANDRO LÓPEZ PALOMEQUE*

ASESOR:

*M.I. APOLINAR PÉREZ LÓPEZ*

REVISOR:

*ING. ROBERTO CIFUENTES VILLAFUERTE*

INGENIERÍA MECÁNICA

# ÍNDICE

<b>Introducción</b>	4
<b>Capítulo I.- Descripción del proyecto</b>	5
1.1.-Antecedentes	6
1.2.-Delimitación del proyecto	6
1.3.-Objetivos	6
1.3.1.- Objetivo industrial	7
1.3.2.-Objetivo económico	7
1.3.3.-Objetivo laboral	7
1.3.4.-Objetivo ambiental	7
1.4.- Justificación	8
<b>Capítulo II.- Hornos utilizados en la industria ladrillera de la region.</b>	9
2.1.- Hornos utilizados en la industria ladrillera. .	10
2.1.1.-Antecedentes y funcionamiento.	10
2.1.2.-Materiales de construcción	11
2.2.- Tipos de hornos existentes	11
2.2.1.-Horno de lámparas	11
2.2.1.1.- Ventajas	11
2.2.1.2.- Desventajas	12
2.2.2.-Horno de celdas solares	12
2.2.2.1.- Ventajas	12

2.2.2.2.- Desventajas	12
2.2.3.-Horno vertical	13
2.2.3.1.- Ventajas	13
2.2.3.2.- Desventajas	13
2.3.- Temperatura	14
2.4.- Tipos de combustibles	14
2.4.1.-Selección de combustible a usar	15
2.4.2.-Etanol	16
2.4.3.-Gas natural	17
2.4.3.1.- Ventajas	17
2.4.3.2.- Desventajas	17
<b>Capítulo III.- Medidas del Horno.</b>	<b>18</b>
3.1.-Distribución del ladrillo en el horno.	19
3.2.- Diseño del horno.	20
3.3.- División de las cámaras de los hornos	20
3.3.1.-Base del horno	20
3.3.2.- Cámara de cocción	22
3.3.3.-Tercer nivel	23
3.3.3.1.- Techado	23
<b>Capítulo IV.- Cálculos</b>	<b>24</b>
4.1.-Perdida de calor por transferencia	25
4.1.1.- Conducción	25
4.1.2.- Convección	25

4.1.3.-Coeficiente global de transferencia	26
4.2.-Energía necesaria para la cocción de ladrillos	27
4.2.1.-Obtención de la relación aire-combustible	29
4.3.- Cálculo de tuberías	30
4.3.1.- Cálculo de pérdidas	31
<b>Conclusión</b>	<b>33</b>
<b>Anexos</b>	<b>34</b>
Anexo A.-Tabla de las tuberías y figura	35
Anexo B.- Diagrama de Moody	38
Anexo C.- Calculo de EES	39
<b>Bibliografía</b>	<b>40</b>

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo veremos los antecedentes, así como también las limitaciones, los objetivos y la justificación del mismo de los hornos, lo cual ayudara a comprender mejor este trabajo.

En el capítulo II analizamos los hornos existentes en la región, desde el tradicional que tenemos en Chiapa de Corzo, hasta aquellos que se han ido implementando en diversas regiones de país, por lo cual también se hace un análisis de los combustibles que se emplean en la actualidad y una selección del mismo, en base a las necesidades que se nos han presentado ya que sin la selección adecuada del mismo el horno podría ser o no ser ecológico.

En el siguiente capítulo III se muestran la distribución de los ladrillos dentro del horno, así también las figuras de cómo puede ser el diseño del horno en base a nuestras necesidades, ya que para fines de este trabajo el horno se ha diseñado con ciertas especificaciones de la cual una, de las de mayor importancia es que se supondrá de forma adiabática.

De lo anterior y sabiendo el combustible que usaremos, se analiza la cámara de combustión y en base a eso se obtener los resultados de las perdidas de carga térmica por paredes, pero ya que nuestro horno esta siendo diseñado de tal forma que sus perdidas por transferencia son mínimas, el cálculo mas importante es el saber cuanta energía se requerirá para cocer los ladrillos. Con el resultado obtenido se calculan cantidad de combustible a usarse así como también se selecciona la tubería a usarse.

# **CAPÍTULO I**

## **DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

## **1.1 Antecedentes**

La historia de los hornos esta ligada a través del tiempo junto a su producto, el ladrillo, los primeros vestigios se remontan a casi 11000 años atrás donde los primeros en utilizarlos fueron quizá los mesopotámicos y los palestinos, ya que en las áreas donde levantaron sus ciudades apenas existía la madera y la piedra. Los sumerios y babilonios secaban sus ladrillos al sol; sin embargo, para reforzar sus muros y murallas, en las partes externas, los recubrían con ladrillos cocidos, por ser estos más resistentes. En ocasiones también los cubrían con esmaltes para conseguir efectos decorativos. Las dimensiones de los ladrillos fueron cambiando en el tiempo y según la zona en la que se utilizaron.

En el Estado de Chiapas, la fabricación de ladrillos es una actividad que se hace de manera tradicional o artesanalmente en hornos que son alimentados por diferentes combustibles que van desde llantas, basura, plásticos y en los mejores casos combustóleo. Estos últimos no son aprovechados de manera óptima y emiten una gran cantidad de gases contaminantes a la atmósfera que dañan el medio ambiente. Lo que se pretende con este proyecto es diseñar un horno con lo cual se aproveche al máximo la energía que es capaz de proporcionar determinado combustible, que podría ser gas natural o el mismo combustóleo que ya se utiliza.

## **1.2 Delimitación del proyecto**

Diseñar un horno ecológico para cocer ladrillos el cual deberá aprovechar al máximo el combustible suministrado para su funcionamiento y reducir la cantidad de gases contaminantes emitidos a la atmósfera

## **1.3 Objetivos**

El objetivo del Horno es disminuir de manera importante las emisiones de gases contaminantes en la atmósfera, principalmente modificando el combustible a

usarse. Así como también mantener las principales características del ladrillo o en su defecto mejorarlo.

Debe señalarse que el horno deberá operar las 24 horas y los 365 días del año y de forma independiente de las condiciones atmosféricas, de las estaciones del año y que puede aplicarse efectivamente para cualquier condición que se tenga dentro de los límites normales. Así también podrá cambiarse el tipo de producto en el menor tiempo posible.

### **1.3.1 Objetivo industrial**

Proponer un diseño de un horno de tecnología intermedia que represente un paso en la modernización tecnológica del sector.

### **1.3.2 Objetivo económico**

Con el proyecto se buscara apoyo gubernamental así como el de diversas empresas privadas. Buscara no incrementar los costos de fabricación de manera significativa.

### **1.3.3 Objetivo laboral**

El proyecto debe mejorar las condiciones de trabajo de los involucrados en la producción de ladrillos, introduciendo estandarización de la producción y uso de normas de higiene y seguridad para el trabajo.

### **1.3.4 Objetivo ambiental**

Este es el principal objetivo del proyecto, el busca reducir ostentablemente la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, por medio de un sistema de quemado óptimo de los combustibles, para contribuir con la conservación del aire

limpio de la región, así como también a disminuir en la medida de lo posible los desechos sólidos producidos por la mala quema dentro del horno.

#### **1.4 Justificación**

La gran contaminación del medio ambiente producido por la quema de diversos combustibles, nos ha llevado a realizar una investigación la cual nos dará como resultado una menor contaminación ambiental. Esto es de gran importancia, ya que nos dará una mejora de forma significativa la calidad del aire así como también se busca la aplicación de nuevas técnicas en este campo.

**CAPÍTULO II**  
**HORNOS UTILIZADOS**  
**EN LA INDUSTRIA**  
**LADRILLERA DE**  
**LA REGIÓN**

## **2.1 Hornos utilizados en la industria ladrillera.**

Según las investigaciones históricas que se han realizado, el tipo de hornos usados en la actualidad por los ladrilleros de la región, corresponde todavía a diseños de hornos cerámicos romanos que datan de dos mil años de antigüedad ya que su funcionamiento se basan en los mismos principios básicos.

### **2.1.1 Antecedentes y funcionamiento.**

Los hornos utilizados actualmente en el sector ladrillero de la región, poseen básicamente dos formatos geométricos y estos son: Cilíndricos y los cúbicos de base rectangular. Sus capacidades de carga oscilan entre 7000 a 10000 ladrillos artesanales

Estos hornos para poder ser cargados se hace desde la parte superior del mismo, el cual, la gente que labora tiene que ir acomodando forma tal que los tabiques mantengan una cierta separación que en promedio oscila entre desde 1 a 2cm. En la parte baja del horno se encuentran 2 arcos sobre los cuales se pondrán los ladrillos con una determinada red la cual se presenta en de manera ilustrativa en el capítulo III. La cámara de combustión se encuentra en la parte inferior del horno, en la cual es una recamara donde se quema el combustible el cual es suministrado por una persona que esta aproximadamente expuesta al fuego directo, el operador esta en promedio 12 horas suministrando el combustible de forma constante. Esto es para un horno que su combustión la realiza con cáscara de café.

Para el diseño de un horno es necesario tomar en cuenta diversos aspectos, dentro de los cuales los más importantes son:

Temperatura

Tiempo

Material del diseño

Combustible

## **2.1.2 Materiales de construcción**

Los materiales de construcción utilizados en la construcción de los hornos son:

- Piedras
- Ladrillos
- Adobes
- Mortero de barro o arcilla

## **2.2 Tipos de hornos existentes**

- Horno de lámparas
- De celdas solares
- Horno vertical

### **2.2.1 Horno de lámparas**

Este horno es uno de los de mayor modernidad que existe en la actualidad. Están ubicados en San Diego Cuachayotla, municipio del Estado de Puebla, su funcionamiento se basa en el uso de energía eléctrica, la cual alimenta a 90 lámparas de rayos infrarrojos, y el proceso consta de tres etapas: calentamiento, cocción, enfriamiento. Este proyecto es uno de los más prometedores, pero es el de mayor inversión inicial.

#### **2.2.1.1 Ventajas**

- Reduce la contaminación al medio ambiente de forma directa
- Proceso rápido
- Operación sencilla

### **2.2.1.2 Desventajas**

- La inversión inicial es muy alta
- No hay gran información sobre el mantenimiento

## **2.2.2 Horno de celdas solares**

La energía solar, es la más importante y más basta, la aplicación durante el paso del tiempo se ha especializado, este horno usa como combustible la energía del sol. Es un horno que en vez de utilizar combustibles fósiles para calentar a los ladrillos, el horno es de alta temperatura, a esta la consigue con un conjunto de espejos de lámina de aluminio y un seguidor solar que dirige los rayos del sol a un concentrador parabólico que los recolecta. Luego el concentrador parabólico dirige la energía calorífica a un contenedor en cuyo interior se colocan los tabiques o ladrillos para su cocimiento.

### **2.2.2.1 Ventajas**

- No contamina
- Su energía la obtiene sin costo
- Es tecnología mexicana

### **2.2.2.2 Desventajas**

- La instalación la debe hacer personal especializado
- Operación y mantenimiento por personal especializado
- Esta ligado el uso a cambios climáticos

### **2.2.3 Horno vertical**

Este horno principalmente es usado para producir grandes cantidades de ladrillos de forma continua, la operación la puede llevar las mismas personas que usaban el horno tradicional figura 2.1.

#### **2.2.3.1 Ventajas**

- Se producen grandes cantidades de ladrillos
- Aumenta en relación al horno tradicional la eficiencia térmica

#### **2.2.3.2 Desventajas**

- Inversión inicial alta
- El uso de carbón mineral es gran contaminante



Fig. 2.1 horno vertical

## 2.3 Temperatura

La temperatura dentro del horno esta directamente ligada al tiempo de cocción, en el horno tradicional se estima que puede llegar hasta los 573-623 K con un tiempo de 24 horas. Si lo que se intenta tener como mínimo para la cocción lo estimamos en 1173 K, entonces el tiempo se verá disminuido de forma drástica hasta tener que el tiempo es de 60 minutos. Esto es de gran relevancia ya que con las pruebas realizadas en el laboratorio sabemos que el ladrillo de la región a compresión resiste  $26 \frac{Kg}{cm^2}$ , y la norma mexicana de la industria de la construcción dice que la compresión que soportan los ladrillos varía entre los  $20 \frac{Kg}{cm^2}$  y  $30 \frac{Kg}{cm^2}$ .

## 2.4 Tipos de combustibles

En los hornos tradicionales por lo regular usan combustibles sin importar el daño ambiental. Esto es debido a dos razones principales, la falta de estudios profesionales en el campo y los costos elevados que tienen los combustibles más limpios. Los precios son la principal razón del uso de diferentes combustibles. Ya que los pequeños productores optan por no gastar en ellos, así bien se disponen a quemar llantas, o en su defecto cualquier tipo de basura que les pueda dar el calor necesario para la producción.

Algunos otros en los mejores casos usan lo que esta a su disposición en la región, bien puede ser leña, cáscara de café, y aceite quemado. Los cuales pueden ser buenos combustibles, pero llegan contaminar de forma drástica el medio ambiente.

Leña: o biomasa, es un combustible abundante en la región, si bien se piensa que su uso genera un estado de inocuidad, esto es erróneo, ya que a su humo blanco aunque no lo parezca genera contaminantes nocivos para la salud como partículas de monóxido de carbono, así como también toxinas como la dioxina, la

cual es una sustancia a la que se asocia índices elevados de cáncer en personas adultas.

Propiedades físicas de la madera <sup>[3]</sup>:

-Su poder calorífico es de:  $19000 \frac{KJ}{Kg}$ .

-Su densidad es de:  $\rho = 800 \frac{Kg}{m^3}$

-El  $C_p$  es de:  $C_p = 1959 \frac{J}{Kg.K}$

Cáscara de café: El estado de Chiapas una de las principales actividades económicas en la producción de café. Del cual de un proceso que se conoce como despulpado, se obtiene lo que es la cáscara de café. La cual al considerarse como biomasa, puede tener los mismos efectos que la madera.

Características físicas <sup>[9]</sup>.

- La cascarilla del café tiene una densidad a 26°C de  $1323 \frac{gr}{cm^3}$
- Una densidad bruta de  $0.323 \frac{gr}{cm^3}$
- el calor de combustión es de  $4500 \frac{cal}{gr^\circ C}$
- con un poder calorífico de  $17900 \frac{KJ}{Kg}$

Aceite quemado: Este es un combustible muy usado en la actualidad, el gran problema que se genera es que en la región, genera una gran contaminación debido a su quema incompleta.

#### **2.4.1 Selección del combustible a usar.**

En la actualidad, el aspecto principal para seleccionar un combustible es el que sea menos contaminante hacia nuestro medio ambiente, por cual tenemos que

tanto la basura, madera, aceite quemado y la cáscara de café pueden ser grandes contaminantes.

El etanol y metano son dos combustibles que los podemos encontrar en el mercado, ya que para expertos ambos son considerados como los combustibles del futuro.

#### **2.4.1.1.- Etanol**

El etanol es un compuesto químico que puede utilizarse como combustible, bien solo, o bien mezclado en cantidades variadas con gasolina, y su uso se ha extendido principalmente para reemplazar el consumo de derivados del petróleo.

El combustible resultante de la mezcla de etanol y gasolina se conoce como gasohol oalconafta. Dos mezclas comunes son E10 y E85, con contenidos de etanol del 10% y 85%, respectivamente.

El etanol también se utiliza cada vez más como añadido para oxigenar la gasolina estándar, reemplazando al éter metil tert-butílico (MTBE). Este último es responsable de una considerable contaminación del suelo y del agua subterránea. También puede utilizarse como combustible en las celdas de combustible.

Para la producción de etanol en el mundo se utiliza mayormente como fuente biomasa. Este etanol es denominado, por su origen, bioetanol.

El etanol puede producirse a partir de un gran número de plantas, con una variación, según el producto agrícola, del rendimiento entre el combustible consumido y el generado en dicho proceso. Este etanol, conocido como bioetanol, está sujeto a una fuerte polémica: para unos se perfila como un recurso energético potencialmente sostenible que puede ofrecer ventajas medioambientales y económicas a largo plazo en contraposición a los combustibles fósiles, mientras que para otros es el responsable de grandes deforestaciones y del aumento del precio de los alimentos, al suplantarse selvas y terrenos agrícolas para su producción, dudando además de su rentabilidad energética.

El etanol se obtiene fácilmente del azúcar o del almidón en cosechas de maíz y caña de azúcar, entre otros. Sin embargo, los actuales métodos de producción de bio-etanol utilizan una cantidad significativa de energía en comparación con la

energía obtenida del combustible producido. Por esta razón, no es posible sustituir enteramente el consumo actual de combustibles fósiles por bio-etanol.

#### **2.4.1.2.- Gas natural (metano)**

El metano (del griego methy vino, y el sufijo -ano<sup>1</sup> ) es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es CH<sub>4</sub>.

Cada uno de los átomos de hidrógeno está unido al carbono por medio de un enlace covalente. Es una sustancia no polar que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Es incoloro e inodoro y apenas soluble en agua en su fase líquida.

En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas. Este proceso natural se puede aprovechar para producir biogás. Muchos microorganismos anaeróbicos lo generan utilizando el CO<sub>2</sub> como aceptor final de electrones.

Constituye hasta el 97% del gas natural. En las minas de carbón se le llama grisú y es muy peligroso ya que es fácilmente inflamable y explosivo.

##### **2.4.3.1 Ventajas**

- Podemos obtenerlo como biogás
- Su poder calorífico es alto
- Combustión limpia
- Precio accesible

##### **2.4.3.1 Desventajas**

- Es un gas efecto invernadero
- Tiene gran impacto sobre la capa de ozono

# CAPÍTULO III

## MEDIDAS DEL HORNO

### 3.1 Distribución de los ladrillos en el horno y sus medidas

La distribución de los ladrillos se llevara a cabo tomando en cuenta que la cámara de cocción es cuadrada de 1.86 m y el tamaño del ladrillo es de, 30 cm. de soga, de grueso 5 cm. y de tizón 15 cm. como se muestra en la Figura 3.1.

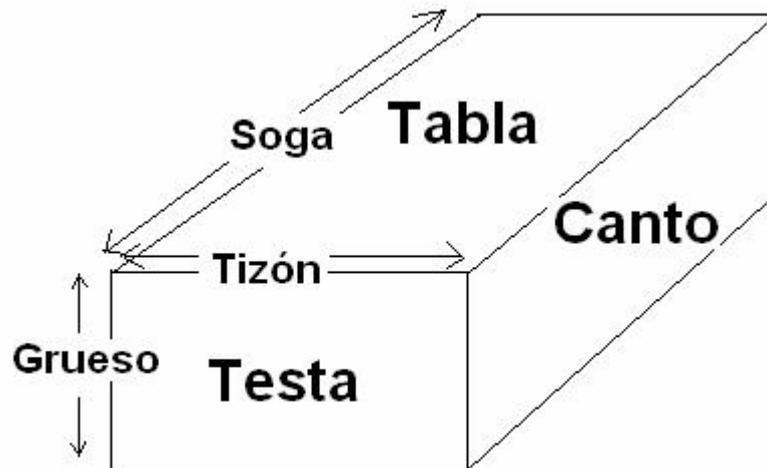


Figura. 3.1 Nomenclatura y medidas del ladrillo

De esto se obtiene que si hacemos un acomodo tenemos que por tanda y dejando un espacio de 1cm por ladrillo, en la primer cama entran 168 ladrillos por 3 camas son en total 504 mas 60 ladrillos que llevaría en la ultima tanda hace un total de 564 ladrillos.

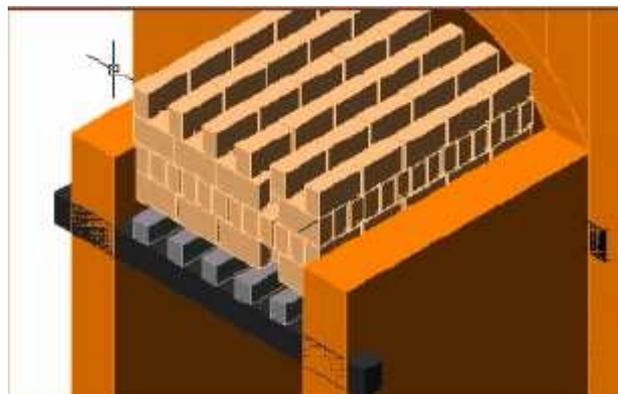


Figura. 3.2 Acomodo de los ladrillos

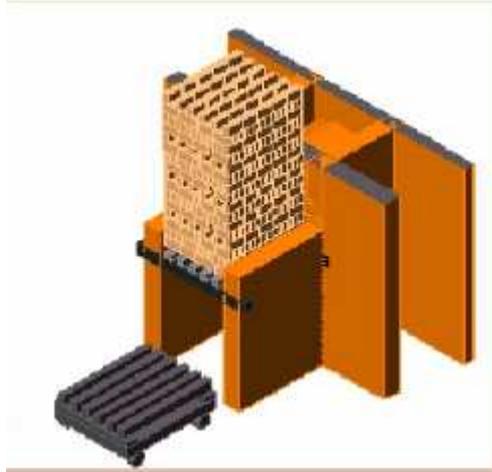


Figura. 3.3 Disposición de los ladrillos en 4 tandas

## **3.2 Diseño del horno**

El diseño del horno es muy importante ya que gracias a él podemos determinar la cantidad de pérdidas de calor que tenemos hacia el exterior, por ello, para el análisis que se va a realizar se retomó el horno que suponemos tiene la menor transferencia de calor, al medio ambiente y para objeto de este proyecto se analiza de la siguiente manera.

### **3.1 División de las cámaras de los hornos**

#### **3.1.1 Base del horno**

Esta parte del horno es muy importante ya que debe soportar toda la estructura del horno más el peso de la carga de ladrillos. Una puerta abovedada atraviesa toda la parte inferior de este primer nivel como se muestra en la figura 3.4.

La parte superior de este primer cuerpo lleva un anillo de concreto para asegurar la estabilidad del horno considerando su altura total.

El eje donde estarán los ladrillos o área de horneado, propiamente dicha es el centro de los seis rectángulos constructivos que se muestran en la figura 3.5. El resto de secciones observadas son áreas de sostén y aislamiento que deben ser rellenas posteriormente.

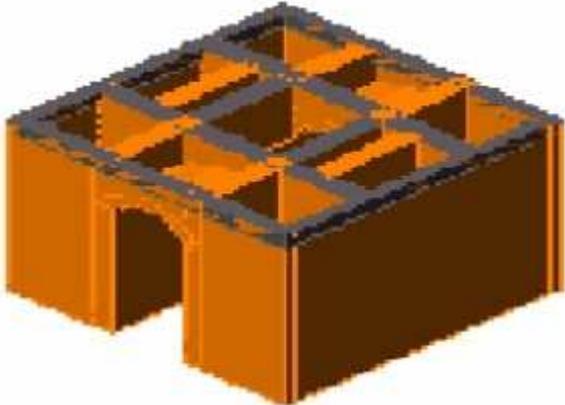


Figura. 3.4 Base del horno

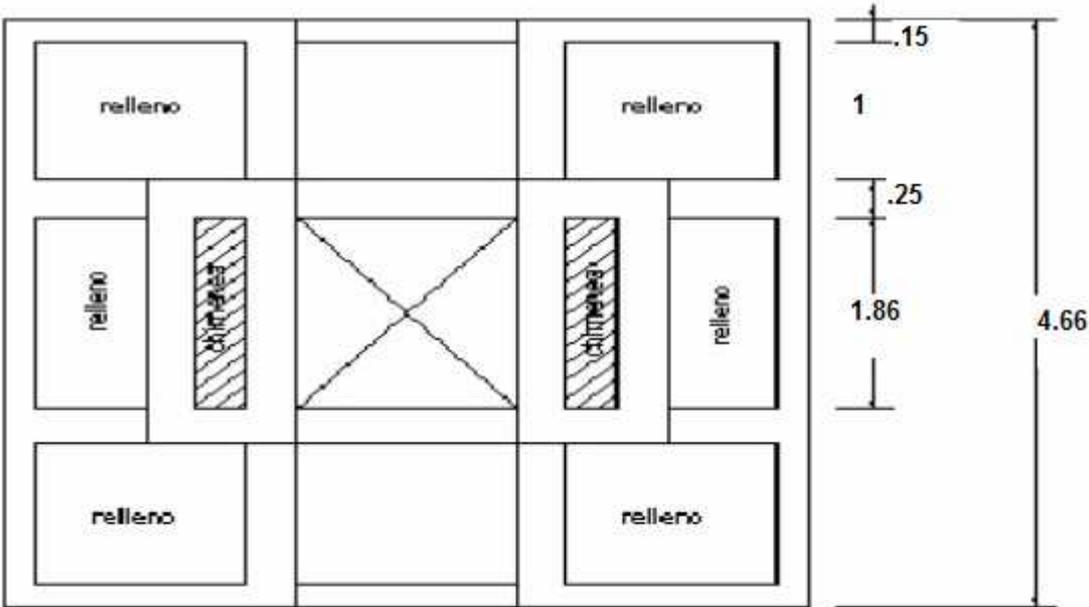


FIG 3.5 PLANO DE LA ESTRUCTURA DE RESIDENCIA

### 3.1.2 Cámara de cocción

Se continúan levantando las paredes siguiendo la secuencia del nivel anterior. Las cuatro paredes exteriores se construyen con ladrillo y cemento, y el resto de paredes interiores con ladrillo y una mezcla de arcilla y tierra.

En las cuatro últimas filas de la parte superior del segundo nivel, a dos filas de los costados del eje, se disponen los ladrillos intercalados dejando un espacio para el ingreso de gases generados en la cocción del ladrillo hacia las dos chimeneas.

Se rellena con el material aislante en todas las secciones excepto en el área del eje. Las dos chimeneas se rellenan hasta antes de los agujeros de escape como se muestra en la figura 3.6.

El acabado de este segundo nivel se puede realizar con ladrillo hueco, dejando libres los espacios para el eje central y las dos chimeneas. Es recomendable dejar una entrada de 1cm en los bordes del eje y de las dos chimeneas, con el fin de estucarlos luego con una mezcla de arcilla y tierra para proteger la estructura de cemento ya que por estas áreas circularán gases calientes.

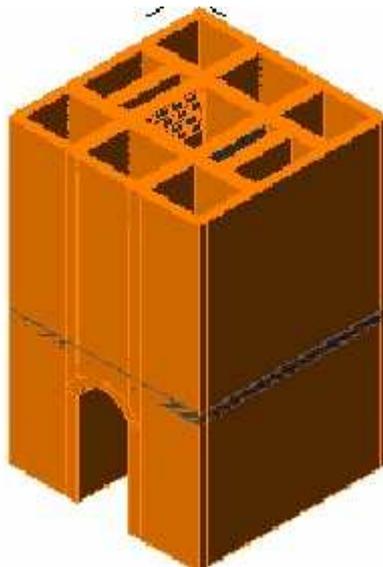


Figura 3.6 CAMARA DE COCCION

### 3.1.3 Tercer nivel

Este nivel es la parte superior del horno donde se harán los trabajos de armado y carga de las series de ladrillos crudos. Es importante la protección del personal que laborará en esta zona, por lo cual se levanta un parapeto o barandal de un metro de altura dejando un metro para el ingreso al área de trabajo. Se concluye con el levantamiento de las dos chimeneas y sobre el eje se levantan 20cm. de pared, quedando así culminado el eje central.

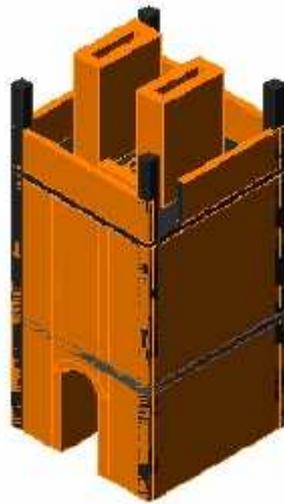


Figura 3.7 Parte superior con dos chimeneas

#### 3.1.3.1 TECHADO

Se arma la estructura de soporte con estructura metálica o de madera y se procede a cubrir el horno con tejas o lámina u otro material apropiado.



Figura. 3.8 TECHO DEL HORNO

# **CAPÍTULO IV**

## **CÁLCULOS**

## **4.1 Cálculos de pérdida de calor**

La transferencia de calor es aquella ciencia que busca predecir la transferencia de energía que puede ocurrir entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. La termodinámica enseña que esta transferencia de energía se define como calor. La ciencia de la transferencia de calor no sólo trata de explicar cómo puede ser transferida la energía calorífica, sino también trata de predecir la rapidez a la que se realizará este intercambio bajo ciertas condiciones especificadas

### **4.1.1 Conducción**

La experiencia ha demostrado que cuando existe un gradiente de temperatura en un cuerpo, hay una transferencia de energía de la región de alta temperatura a la de baja temperatura. Decimos que la energía es transferida por conducción y que la rapidez de transferencia de energía por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura.

### **4.1.2 Convección**

Sabemos muy bien que una placa de metal caliente se enfría con mayor rapidez cuando se le coloca frente a un ventilador, que cuando se le expone a un aire en reposo. Decimos que el calor se disipó por convección y llamamos al proceso transferencia de calor por convección. El término convección proporciona al lector una noción intuitiva sobre el proceso de transferencia de calor; no obstante, esta noción intuitiva deberá ser ampliada para que nos permita llegar a un tratamiento analítico adecuado del problema.

### 4.1.3 Coeficiente global de transferencia de calor.

Considérese la pared plana de la figura 4.1 en contacto con un fluido caliente *A* por una cara y con un fluido más frío *B* por la otra cara.

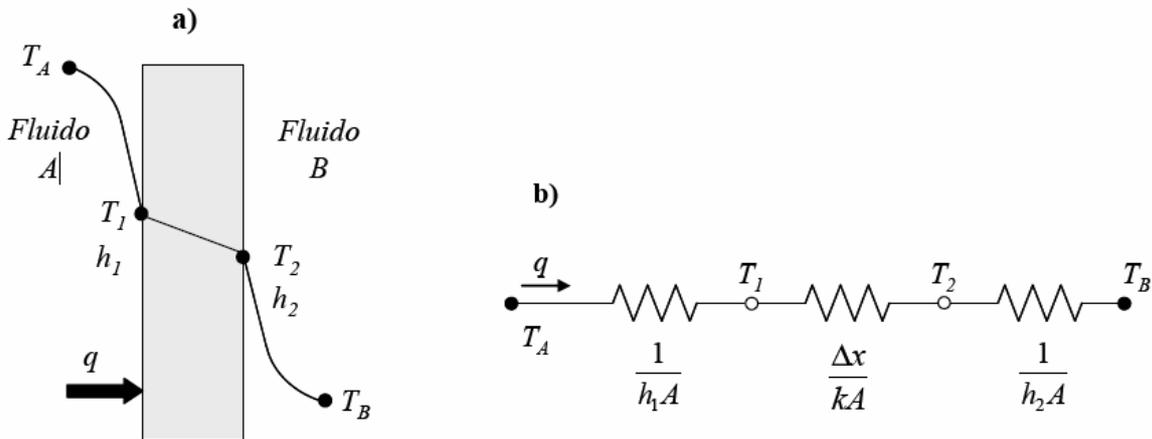


Figura. 4.1 Transferencia de calor a través de una pared plana

De lo anterior tenemos que la transferencia de calor que se lleva a cabo dentro de la cámara de cocción, es igual a tener la transferencia de calor a través de la pared del horno, por lo tanto para obtener las pérdidas tenemos que el área total del ladrillo es:

$$A = (1.68m * 4)(1.5) = 11.04m^2 \quad 4.1$$

Por lo cual tenemos que la convección de la cámara a la pared interior, de la pared exterior al medio ambiente, y la transferencia de calor por conducción que tiene el ladrillo se suman como muestra la ecuación 4.2. de la cual las entalpías  $h_1$  y  $h_2$  se obtienen del apéndice C, las cuales fueron calculadas usando el EES.

$$q = h_1 A (T_A - T_1) = \frac{KA}{\Delta x} (T_1 - T_2) = h_2 A (T_2 - T_b) \quad 4.2$$

Pero también se sabe que la transferencia de calor se puede expresar de la siguiente forma:

$$q = UA \Delta T_{global} \quad 4.3$$

Donde U es el coeficiente global de transferencia de calor y es necesario calcularlo para obtener la transferencia de calor ó pérdida de calor:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta x}{KA} + \frac{1}{h_2 A}} \quad 4.4$$

De la ecuación 4.4 y con los datos anteriores para lo que el valor de  $K = 0.7 \frac{W}{m \cdot c}$  y el  $\Delta x = 15cm$  de lo cual tenemos que el coeficiente global de transferencia calor es:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{1246 \times 11.04} + \frac{0.15}{0.7 \times 11.04} + \frac{1}{298.6 \times 11.04}} = 50.5408 \frac{W}{m^2 \cdot c} \quad 4.5$$

Con este resultado, de la ecuación 4.3, sustituimos los valores teniendo en consideración que la temperatura dentro del horno es de  $900^\circ C$  y  $25^\circ C$  para el medio ambiente obtenemos:

$$q = 50.54 \times 11.04 (900 - 25) = 488224W \quad 4.6$$

Al obtener este resultado tenemos que la tasa de transferencia de calor hacia el medio ambiente es muy grande, por lo cual se comprueba que los hornos tradicionales que solo usan su mismo material, tienden a perder gran cantidad de energía y es por eso que para el análisis suponemos que tenemos un sistema completamente adiabático, por lo cual el horno con mejor aislamiento es el antes presentado en el capítulo II.

## 4.2 Energía necesaria para la cocción de los ladrillos.

Para saber la energía que se necesita para calentar un ladrillo hasta los  $900^\circ C$ , lo haremos mediante el “análisis de energía en sistemas cerrados”. De lo cual teniendo en cuenta que la densidad del ladrillo es de <sup>[1]</sup>:

$$\rho = 1200 \frac{Kg}{m^3} \quad 4.7$$

Y el volumen del ladrillo esta dado en base a las medidas antes mencionadas en el punto 4.1:

$$V = 2.25 \times 10^{-3} m^3 \quad 4.8$$

De las ecuaciones 4.7 y 4.8, de su producto tenemos que la masa es:

$$m = V\rho = 1200 \times 2.25 \times 10^{-3} = 2.7 Kg \quad 4.9$$

Para obtener la energía total debemos tener el  $C_p$  del ladrillo con lo cual tenemos que:

$$C_p = 0.84 \frac{KJ}{KgK} \quad 4.10$$

Y las respectivas temperaturas a las que debemos de llegar, las cuales están dadas en grados kelvin (K).

$$T_1 = 900 + 273 = 1173K \quad 4.11$$

$$T_2 = 25 + 273 = 298K \quad 4.12$$

De las ecuaciones 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 tenemos que la tasa de transferencia de calor hacia el ladrillo se expresa en la siguiente ecuación.

$$Q = (m \times C_p)(T_1 - T_2) \quad 4.13$$

Sustituyendo los valores en la en la ecuación 4.13 obtenemos la cantidad de energía para poder calentar el ladrillo hasta su temperatura de cocción como se muestra en la ecuación 4.14 y 4.15.

$$Q = (2.7 \times 0.84)(1173 - 298) \quad 4.14$$

$$Q = 1984.5 \frac{KJ}{ladrillo} \quad 4.15$$

Si tomamos en cuenta que el valor obtenido, es solamente para una sola pieza tenemos que para obtener el valor total debemos multiplicar la ecuación 4.15 por la cantidad de ladrillos que se van a hornear. Y la cantidad es de 564 piezas:

$$Q_{total} = (1984.5 \frac{KJ}{ladrillo})(564) = 1.119 \times 10^9 J \quad 4.16$$

Con los datos obtenidos en el total de energía hacemos una relación como se muestra en la ecuación 4.17 y 4.18, de la cual sabemos que el poder calorífico del metano es de  $55530 \frac{KJ}{Kg}$ . El resultado es la masa total del combustible para calentar los 530 ladrillos.

$$m_{combustible} = \frac{Q_{total}}{Pc} \quad 4.17$$

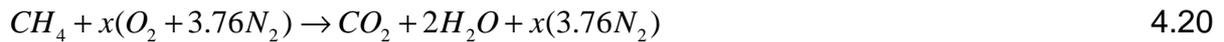
$$m_{combustible} = \frac{1.119e^9 J}{55530 \frac{Kj}{Kg}} = 21.4767 Kg \quad 4.18$$

Para el análisis y suponiendo que tenemos una combustión adiabática, obtenemos el flujo masico con respecto a una hora:

$$\dot{m} = \frac{21.4767}{3600} = 0.005966 \frac{Kg}{s} \quad 4.19$$

#### 4.2.1 Obtención de la relación aire-combustible

Para obtener la relación de aire-combustible suponemos una reacción estequiometrica y se esta quemando de manera adiabática:



Balancemos la ecuación 4.20 para obtener los valores de x:

$$x = 1 + 1 = 2 \quad 4.21$$



Entonces tenemos que la relación de aire combustible la obtenemos de la masa de cada uno de los elementos o sustancias involucrados, y teniendo en cuenta los pesos molares es de.

$$\frac{AIRE}{COMBUSTIBLE} = \frac{(2 \times 4.76 \times 29)}{(1 \times 12) + (2 \times 2)} = 17.3 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{combustible}} \quad 4.23$$

De la ecuación 4.23 sabemos que para los 21Kg. de metano necesitamos:

$$m_{aire} = 21 \times 17.3 = 363.3 Kg \quad 4.24$$

Este resultado nos sirve para saber la cantidad de aire necesaria para la quema del combustible, ya que en inicio se supone que el horno es adiabático, por lo cual no entra ni sale aire, con lo cual nos indica de manera teórica que debemos de tener dentro de la cámara de cocción.

### 4.3.- Cálculo de tuberías

Del flujo volumétrico, sabemos que la velocidad del gas con respecto a la tubería de cobre tipo K, de lo cual en el apéndice A obtenemos tanto el diámetro interno de la tubería y su rugosidad, con lo cual obtendremos en área, flujo volumétrico y la velocidad como se presenta en las ecuación 4.26, 4.27, 4.28 respectivamente.

$$V = \frac{Q}{A} \quad 4.25$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 0.000502 m^2 \quad 4.26$$

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0.00596}{0.6556} = 0.0091 \frac{m^3}{s} \quad 4.27$$

$$V = \frac{0.0091}{0.00052} = 18.1275 \frac{m}{s} \quad 4.28$$

### 4.3.1 Cálculo de pérdidas

Al obtener la velocidad se calcula el Reynolds como se puede ver en la ecuación 4.29, que esta dado por el producto de la velocidad por el diámetro entre la viscosidad cinemática como muestra. Pero la viscosidad cinemática esta dada por la viscosidad entre la densidad como se ilustra en la ecuación 4.30, para el la densidad y la viscosidad se obtiene del anexo C, de la ecuación 4.33 obtenemos la división de la rugosidad entre el diámetro interno los cuales se obtuvieron de las tabla A-1.

$$Re = \frac{Vd}{\nu} \quad 4.29$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad 4.30$$

$$\nu = \frac{0.000011}{.6556} = 0.000017 \frac{m^2}{s} \quad 4.31$$

$$Re = \frac{18.1275 \times 25.273 e^{-3}}{0.000017} = 26949.2 \quad 4.32$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.0015}{25.273} = 0.000059 \quad 4.33$$

Con el Reynolds y de la rugosidad del material entre su diámetro, tenemos que de la grafica de Moody en el apéndice B, obtenemos las perdidas por tubería recta. Y de tablas sabemos que:

$$\zeta_{codos} = 0.2 \quad 4.34$$

$$\zeta_{Tes} = 0.7 \quad 4.35$$

$$\zeta_{valvula} = 2.7 \quad 4.36$$

$$\lambda = 0.025 \quad 4.37$$

De las ecuaciones anteriores, sustituimos en la 4.38 para lo cual obtendremos las perdidas por tuberías y accesorios.

$$H = \left[ \lambda \frac{L}{d} + \zeta_{codos} + \zeta_{Tes} + \zeta_{valvula} + 1 \right] \frac{V^2}{2g} \quad 4.38$$

$$H = \left[ \left( 0.025 \times \frac{13.66}{0.025273} \right) + 0.2 + (21 \times 0.7) + 1 + 2.7 \right] \left( \frac{17.017^2}{2 \times 9.81} \right) = 474m \quad 4.39$$

Para obtener la perdida de presión, se realiza el siguiente procedimiento:

$$P = H \rho g = 474 \times 0.6556 \times 9.81 = 304.823Pa \quad 4.40$$

Con este resultado sabemos que las pedidas de presión por tubería son muy pequeñas, por lo cual de la teoría del libro de flujo de fluidos de Crane, sabemos que cuando la perdida de presión es muy pequeña, podemos suponer el flujo compresible, como un flujo incompresible

# Conclusión

Durante el diseño del horno, así como la selección de los combustibles a usar se tuvieron diversos problemas, entre ellos saber realmente si el flujo de gas dentro de una tubería se podría analizar con Darcy, porque esta fórmula en la gran mayoría de los textos se usa exclusivamente para flujos incompresibles, pero de la teoría de Crane <sup>[4]</sup> se tiene que para que fluidos compresibles se puede aplicar, siempre y cuando la tubería sea corta y la pérdida de presión sea menor al 10%.

Así como también obtuvimos el gasto de combustible el cual lo podemos relacionar a que si compramos un tanque de gas a precio comercial, el resultado obtenido es alentador ya que por ladrillo tenemos un costo de producción en base al combustible de \$0.30 pesos, con respecto a los precios comerciales para un hogar. Estos datos son sacados de un horno el cual su diseño aprovecha al máximo el calor generado por la quema del combustible, y el combustible a su vez fue seleccionado por su alto poder energético y su combustión muy limpia en relación a el resto de ellos.

Tomando en cuenta que en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se cuenta con un relleno sanitario, sabemos que los costos del combustible se verían beneficiados. Por lo cual sabemos que este horno, es un proyecto que al corto plazo sería de gran interés para las autoridades gubernamentales así como también para la inversión privada.

# ANEXOS

## ANEXO A. Tablas de las tuberías y figuras

Numero de la tubería	Nombre de la tubería	Nom. Size	Material	Tipo/ Clase	Diámetro Mm	Rugosidad Mm	Longitud M
1	P1	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	10
2	P2	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.15
3	P3	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
4	P4	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
5	P5	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
6	P6	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
7	P7	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
8	P8	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
9	P9	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
10	P10	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
11	P11	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
12	P12	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
13	P13	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
14	P14	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
15	P15	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
16	P16	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
17	P17	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
18	P18	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
19	P19	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
20	P20	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
21	P21	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
22	P22	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
23	P23	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
24	P24	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	0.059
25	P25	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	1.68
26	P26	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	1.68
27	P27	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	1.68
28	P28	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	1.68
29	P29	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	1.68
30	P30	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	1.68
31	P31	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	1.68
32	P32	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	1.68
33	P33	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	1.68
34	P34	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	1.68
35	P35	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	1.68
36	P36	1"	Copper Tube (Type K)	Type K	25.273	0.0015	1.68

37 P37	1"	Copper Tube (Type K) Type K	25.273	0.0015	1.68
38 P38	1"	Copper Tube (Type K) Type K	25.273	0.0015	1.68
39 P39	1"	Copper Tube (Type K) Type K	25.273	0.0015	1.68
40 P40	1"	Copper Tube (Type K) Type K	25.273	0.0015	1.68
41 P41	1"	Copper Tube (Type K) Type K	25.273	0.0015	1.68
42 P42	1"	Copper Tube (Type K) Type K	25.273	0.0015	1.68
43 P43	1"	Copper Tube (Type K) Type K	25.273	0.0015	1.68
44 P44	1"	Copper Tube (Type K) Type K	25.273	0.0015	1.68
45 P45	1"	Copper Tube (Type K) Type K	25.273	0.0015	1.68

Tabla A-1 Datos de rugosidad, diámetro y longitud de la tubería de cobre tipo K

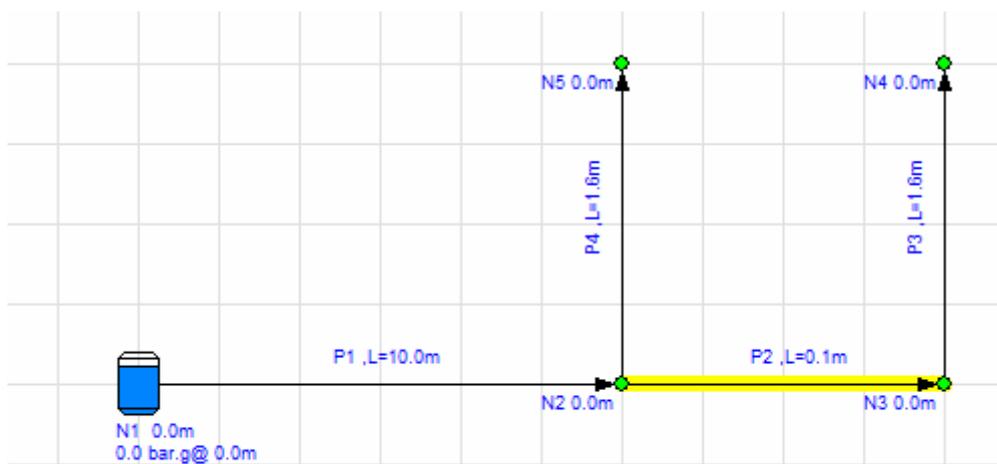


Figura A-1 Red de tubería, de solo una parte, la cual muestra las longitudes, que son redondeadas

## red de tubería de metano que alimenta al horno

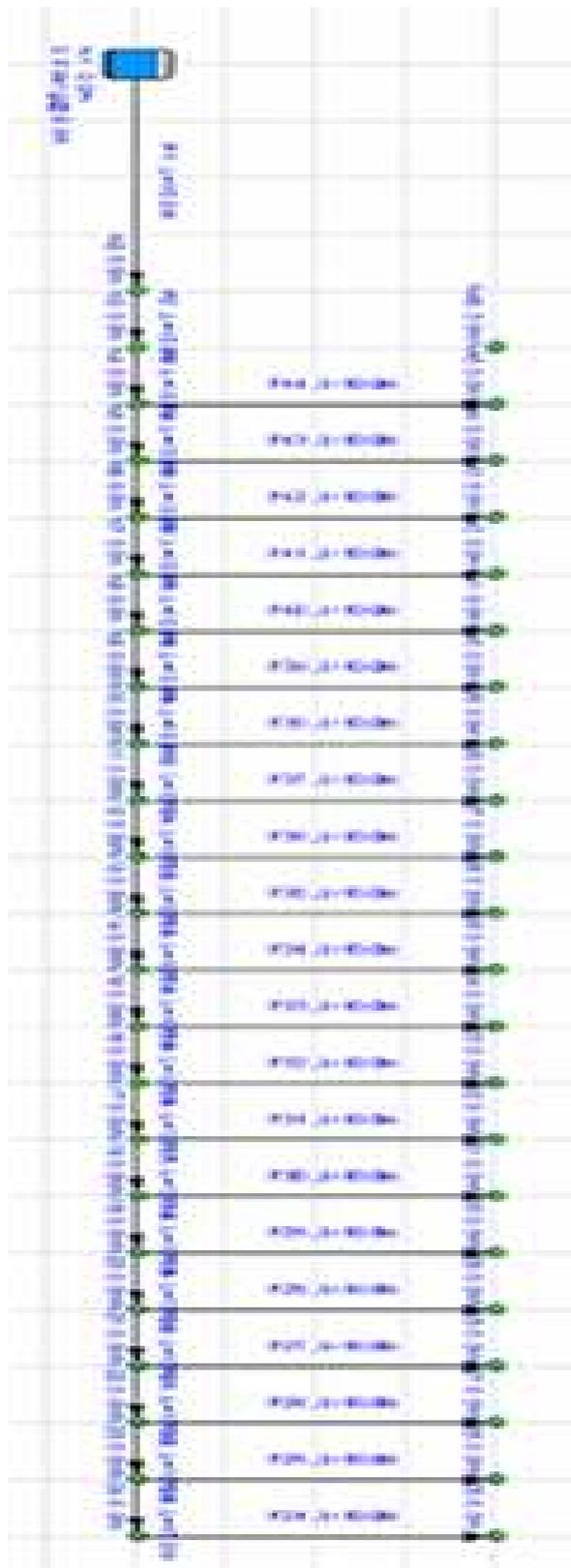


Figura A-2 Red de tuberías de gas

# ANEXO B. Diagrama de Moody

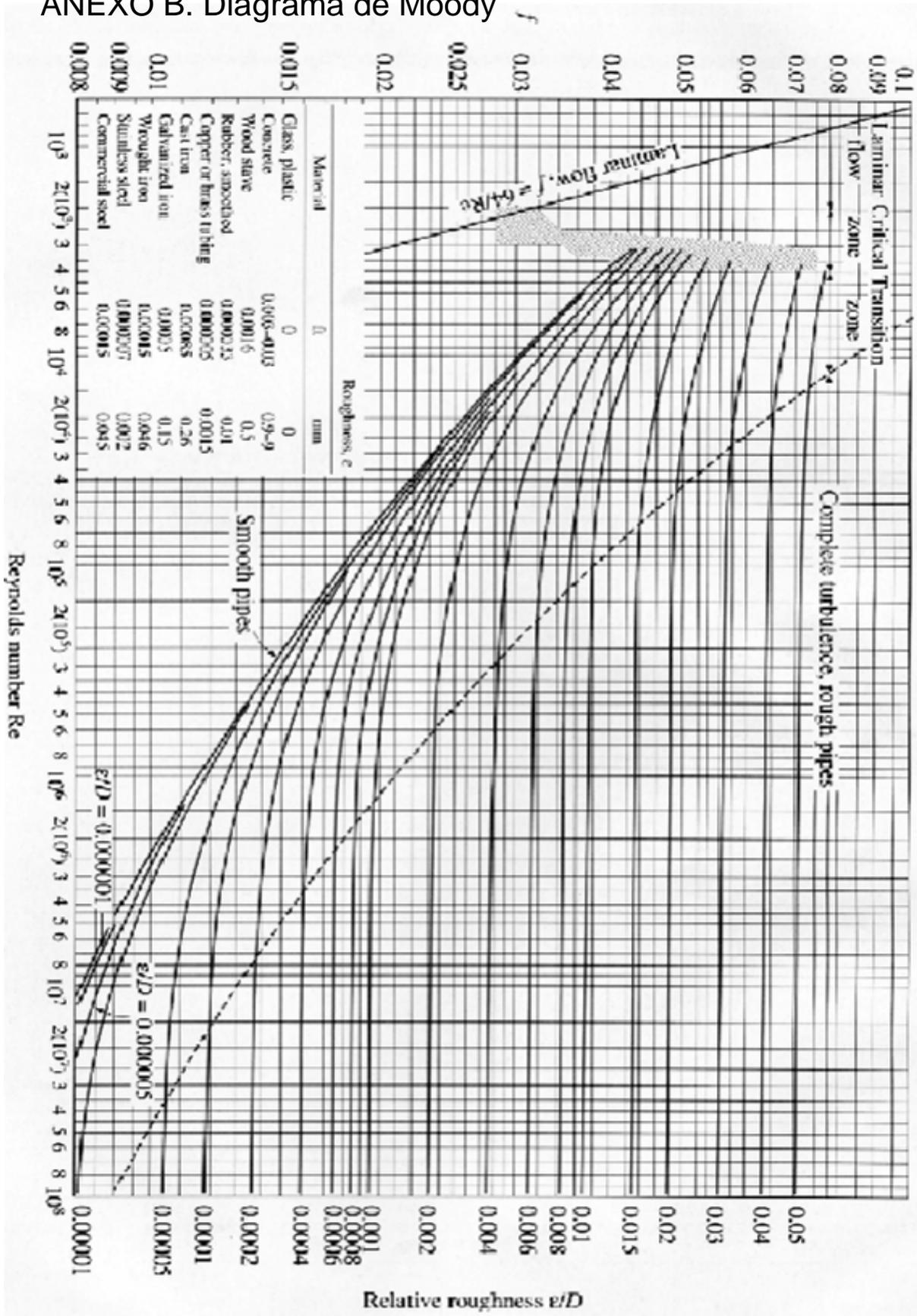


Figura B-1 Diagrama de moody, necesario para calcular las perdidas de presión en la tubería

## ANEXO C. Cálculos con el EES

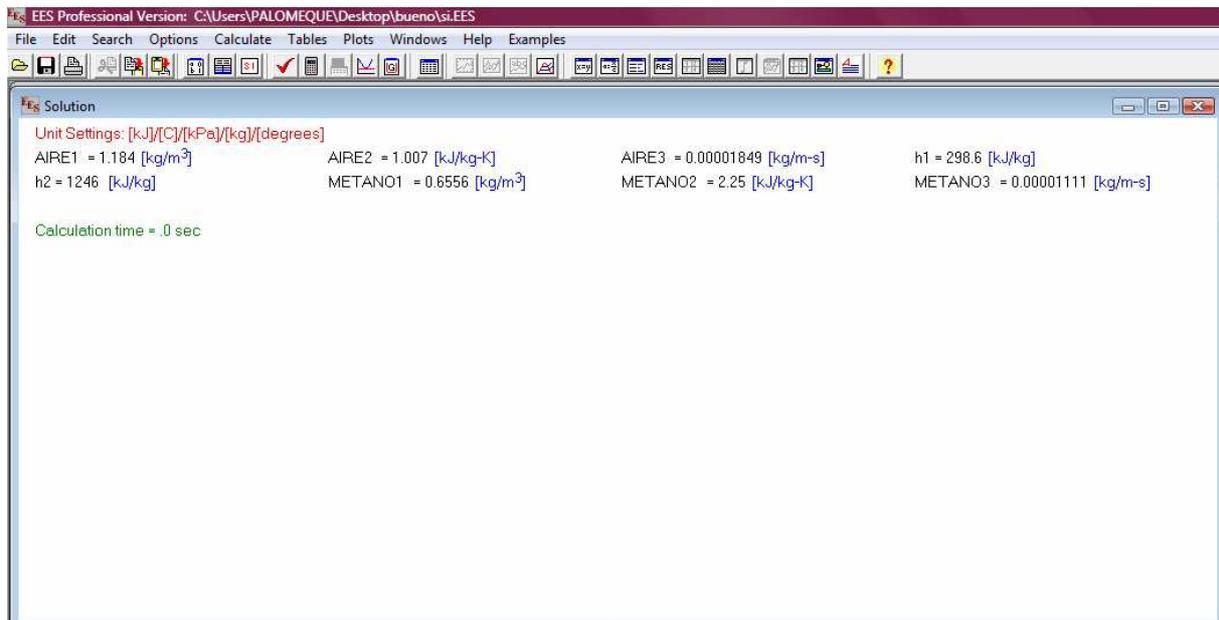
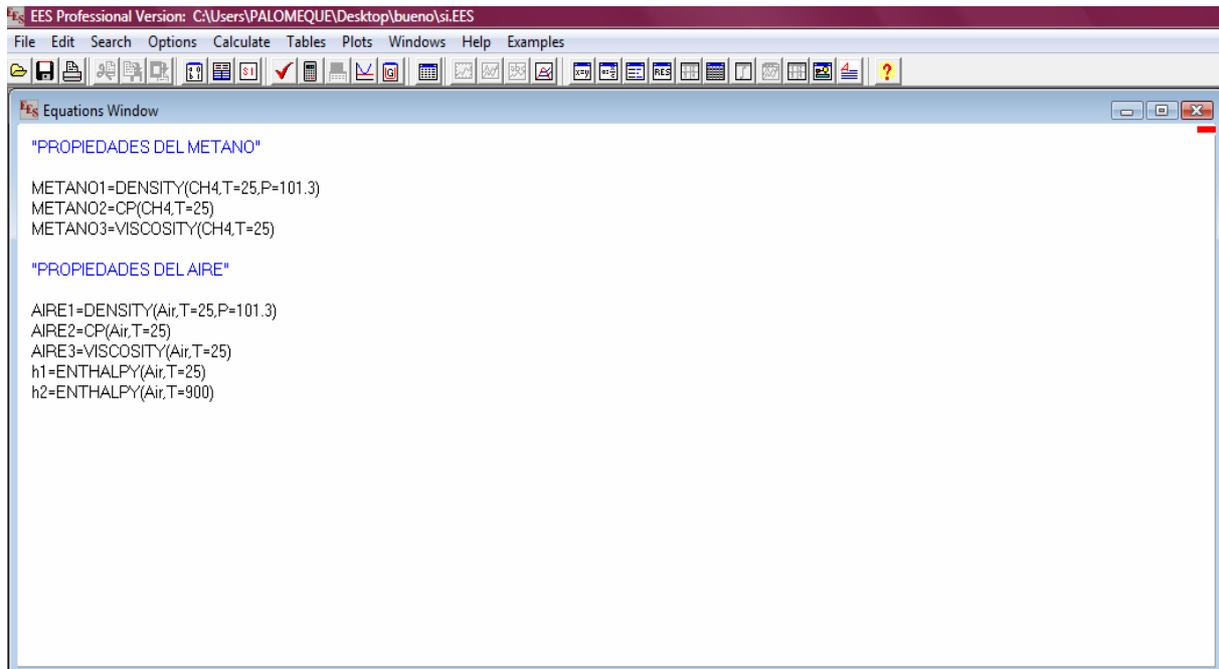


Figura C-1 Pantallas del cálculo de las propiedades del aire y del metano. La pantalla superior muestra como se introducen los comandos, la pantalla inferior son los resultados obtenidos

# Bibliografía

- 1.- Yanus A. Cengel, "Termodinámica", Mac Graw Hill interamericana, México, marzo del 2006, p.165-215, 884-885, 924-925.
- 2.- Claudio Mataix, "Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas", Alfaomega, México, julio del 2007, p. 423-439.
- 3.- J.P. Holman, "Transferencia de calor", Compañía editorial continental S.A. de C.V, México, 1999, p.41-67, 592
- 4.- Crane, "flujo de fluidos en válvulas accesorios y tuberías", Mac Graw Hill, Mexico, p. 9-13
- 5.- O. Levenspiel, "Flujo de fluidos e intercambiadores de calor", Editorial Reverte S.A. España 1993.
- 6.- John R. Howell y Richar O. Buckius, "principio de termodinámica para ingenieros", Mac Graw Hill, México 1990
- 7.- Robert L. Mott, "Mecánica de fluidos", Pearson educación, México 2006
- 8.- Secretaria de comercio y fomento industrial, "Norma mexicana para la fabricación debloques",[http://hosting.udlap.mx/profesores/carlos.acosta/home/Investigacion/Tesi\\_sdirigidas/jimenez/apendiced.pdf](http://hosting.udlap.mx/profesores/carlos.acosta/home/Investigacion/Tesi_sdirigidas/jimenez/apendiced.pdf)
- 9.- Delmar Bonifacio Hernández Jiménez, "caracterización de los ladrillos cerámicos para construcción", Tuxtla Gutiérrez Chiapas, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, 2011.