

---

FACULTAD DE INGENIERIA

U. N. A. M.

**PRESELECCION DE UN HORNO  
PARA PRODUCIR CLINKER Y  
PLANIFICACION DEL MONTAJE**

**T E S I S**

Que para obtener el título de:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
p r e s e n t a :

**CARLOS RANDALL VERA**

---

MEXICO, D. F.

1987



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# I N D I C E

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

- 1.1 Historia del cemento.
- 1.2 Química del cemento.
  - 1.2.1 - Materias primas.
  - 1.2.2 Control de las Materias Primas.
  - 1.2.3 Reacciones químicas en la formación del cemento.
  - 1.2.4 Tipos de cemento Portland.
- 1.3 Evolución de los Hornos de cemento.

## CAPITULO 2.

### PROCESO DE FABRICACION DE CEMENTO.

- 2.1 Extracción de Materia Prima y Transporte.
- 2.2 Molienda de Materia Prima y Homogenización.
- 2.3 Quemado.
- 2.4 Molienda del Cemento, almacenamiento y envasado.

## CAPITULO 3.

### TIPOS DE HORNO ROTATORIO.

- 3.1.1. Hornos largos de vía seca y húmeda.
- 3.1.2 Hornos con precalentador de parrilla.
- 3.1.3 Hornos de vía húmeda con precalentadores.
- 3.1.4 Hornos con precalentadores por suspensión.
- 3.1.5 Hornos con precalcinador.

## CAPITULO 4.

### SELECCION DE UN HORNO ROTATORIO.

- 4.1 Generalidades.
- 4.2 Dimensionamiento de Hornos.
- 4.3 Factores que influyen en la selección.
- 4.4 Arbol de decisión.
- 4.5 Proveedores de Hornos para cemento.
- 4.6 Datos y selección del Horno Planta Huichapan.

CAPITULO 5. FORMAS DE COMPROBAR EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE UN HORNO ROTATORIO.

- 5.1 Generalidades.
- 5.2 Balance de Materia.
- 5.3 Balance de energía.
- 5.4 Resultados de un Balance de Materia y Térmico.

CAPITULO 6. TEORIA DE LA PLANEACION.

- 6.1 Introducción.
- 6.2 Representaciones gráficas.
- 6.3 Ventajas de la gráfica de Gantt
- 6.4 Trazado de la gráfica de Gantt.
- 6.5 Distribución de trabajo.
- 6.6 Gráficas ortogonales.
- 6.7 Introducción a la ruta crítica.

CAPITULO 7. DESARROLLO DE UN PROYECTO PARA FABRICACION DE CEMENTO.

- 7.1 Introducción.
- 7.2 Fase I Estudio preliminar
- 7.3 Fase II Estudio de factibilidad
- 7.4 Fase III Ingeniería Básica
- 7.5 Fase IV Ingeniería de detalle
- 7.6 Fase V Construcción, pruebas de construcción y puesta en marcha.

CAPITULO 8. ELABORACION DE UN PRESUPUESTO PARA MONTAJE MECANICO DE UN HORNO DE CLINKER.

- 8.1 Trabajos solicitados.
- 8.2 Estimación de costo.
- 8.3 Programa presupuestal.

CAPITULO 9. CONCLUSIONES.

## APENDICES

- A Balance de Materia
  - A.1. Datos necesarios.
  - A.2. Cálculos realizados.
  
- B Balance de Energía.
  - B.1 Datos necesarios.
  - B.2 Cálculos realizados para las entradas de energía.
  - B.3 Cálculos realizados para los requerimientos o pérdidas de energía.
  
- C Breve historia del CEMENTO EN MEXICO.
  - C.1 Localización geográfica de las plantas de cemento en México.
  - C.2 Gráfica de producción de cemento en México. período 1906-1986.
  - C.3 Capacidad anual de las plantas productoras en México, período 1977-1986.
  - C.4 Diagrama de flujo, Conjunto Horno-Precalentador Planta Huichapan.
  - C.5 Diagrama de Flujo, Molino de Materia Prima Planta Huichapan.
  - C.6 Diagrama de flujo. Molino de Cemento Planta Huichapan.
  - C.7 Arreglo Mecánico del Precalentador Planta Huichapan.
  - C.8 Arreglo Mecánico del Horno Planta Huichapan.
  
- D Estimación de Costo.
  - Matriz de Montaje (tabla 1)
  - Diagrama de Actividades (Fig. 1)
  - Resumen estimado de costo (Tabla 2)
  - Costo de Mano de Obra (Tabla 3)
  - Costo de Supervisión (Tabla 4)
  - Renta de Maquinaria de Construcción (tabla 5)
  - Tabulador de Salarios (Tabla 6)
  - Programa Presupuestal (Tabla 7)
  - Fórmula de Escalación (Tabla 8)

**Gráfica Ingresos-Egresos (Figura 2)**

**Organigrama de Obra (Figura 3)**

**Diagrama de Avance (Fig. 4)**

**Programa de Construcción (Tabla 9)**

## P R O L O G O

El presente trabajo describe la historia del cemento, la evolución de los hornos de clinker, descripción general del proceso para fabricar cemento y preselección de un horno. Se describen los conceptos de teoría de planeación y control de actividades operacionales, el criterio aplicado en el desarrollo de un proyecto para la fabricación de cemento hasta llegar a la etapa de construcción. Se describe la metodología para la preparación de un presupuesto de montaje mecánico de un horno de clinker con precalentador, incluyendo los cálculos correspondientes para determinar el precio estimado.

Este trabajo se ha realizado en base a un proyecto real creado para satisfacer parte de la demanda de cemento en la zona centro de la República Mexicana. Esta planta con capacidad nominal de 1'100,000 t.p.a. se encuentra localizada en Huichapan, Hidalgo, aproximadamente a 210 km. al N.E. de la ciudad de México. En la figura C1 se muestra la localización geográfica de las plantas de cemento y en la figura C2 la capacidad instalada de las mismas.

En el Capítulo 1 se da una idea general de lo que es el cemento, la evolución en su proceso de producción y específicamente la evolución de los hornos para la fabricación de cemento.

En el Capítulo 2 se describe el proceso para la fabricación de cemento. Se incluye el manejo de materias primas desde su extracción en las canteras y primera trituración, homogenización y quemado de la harina cruda y molienda final.

El Capítulo 3 describe los tipos de hornos utilizados actualmente, sus generalidades, rangos de operación, etc. También se presenta un árbol de decisión para la selección del tipo de horno, basándose en las características de la harina cruda y en las propiedades deseadas en el cemento a producir.

Aplicando estos conceptos se determina el tipo de horno requerido para nuestro proyecto.

En el capítulo 4 se analiza la materia prima y el combustible disponible, se define las dimensiones básicas del horno, se incluye una tabla descriptiva de los equipos principales que integran la nueva planta de cemento.

En el capítulo 5 se presenta un ejemplo de aplicación para determinar el buen funcionamiento de un horno rotatorio de 2200 TPD se describe el balance de materia y balance térmico y los cálculos correspondientes.

En el capítulo 6 se describe la teoría de planeación, programación, y control de actividades que es uno de los puntos fundamentales para el control de obra. Se describe también los puntos esenciales a la ruta crítica.

En el capítulo 7 se describe las diferentes fases del desarrollo de un proyecto, desde el estudio preliminar hasta la fase de construcción, preparación para el arranque y la puesta en marcha. Se hace énfasis en la preparación de estimados de costo.

En el capítulo 8 se describe la metodología para la elaboración de un presupuesto de construcción para el montaje de un horno de clinker con precalentador y calcinador, su planeación cronológica mediante un diagrama de actividades. Se determinan las actividades, tiempos y recursos humanos y materiales necesarios para llevar a cabo el montaje y obtener un estimado de costo de los recursos empleados.

En el capítulo 9 se establecen las conclusiones, la importancia que tienen la planificación y control en el desarrollo de proyectos.



En el apéndice se incluyen Cálculos del Balance Térmico y de energía, localización geográfica y gráfica de producción de cemento en México, Diagramas de flujo, de Molinos y Horno, Estimación de costo y programas para el montaje del horno.

Por último, se incluye una lista bibliográfica de referencia.

CAPITULO 1

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 HISTORIA DEL CEMENTO

La palabra "CEMENTO" tiene más de 2000 años de edad, pero ya mucho tiempo antes se habían utilizado cales impuras como material de construcción. Se ha probado históricamente que los Fenicios utilizaban una cal puzolánica aproximadamente 700 años antes de Cristo y los griegos y los romanos descubrieron que ciertas lavas volcánicas, cuando se molían muy finamente se mezclaban con cal y arena, daban por resultado un mortero el cual no sólo poseía una resistencia superior, sino que también resistía la acción del agua ya fuese dulce ó salada. En Grecia a este material se le llamó "TIERRA DE SANTERINO" debido a que provenía de las Islas Griegas de Santorin o de la Rivera Rhin conocida como Trass. En Roma se le llamó "PUZOLANA" y el material era traído de Puzzouli, próximo al Puerto de Nápoles en Italia. Por lo tanto, se considera que un material es una puzolana, cuando no tiene propiedades cementantes por sí mismo, pero finamente molido y en presencia de humedad, reacciona químicamente con la cal formando compuestos que sí poseen propiedades cementantes.

De la Edad Media se sabe que en Holanda se fabricaba un tipo de cemento hidráulico a base de cal apagada o toba en hornos de cúpula.

La cal hidráulica se obtenía a partir de las calizas margas cociéndolas por debajo de la temperatura de clinkerización, hidratándolas y después triturándolas hasta convertirlas en polvo fino (harina).

Se denomina aglomerantes hidráulicos, aquellos que mezclados con agua se endurecen tanto en el aire como sumergidos en el agua.

Estos procedimientos se utilizaron hasta 1750. Hasta esta fecha, se designaba con la palabra CAEMENT o CEMENT a toda substancia que mejoraba la resistencia o dureza de otra, así las tierras puzolánicas recibían el nombre de cemento porque mejoraban la resistencia de la cal blanca. En el campo de la metalúrgica del hierro, el carbón era considerado como cement porque endurecía la superficie del hierro de ahí

que al carburo de fierro ( $\text{FeC}_3$ ) se le conozca también como cementita. En 1756 el inglés John Smeaton descubrió "EL CEMENTO" tal como lo conocemos hoy día. John Smeaton encontró, después de varios ensayos que el calcinar caliza mezclada con arcilla lograba un producto que al amasarse con agua se endurecía y no era soluble al sumergirse en ella. El producto era cocido con hornos de botella. En 1796 el inglés J. Parker incorporó el mineral de hierro y patentó el proceso para elaborar el Cemento Romano, nombre que le dió por las semejanzas respecto al color, con el mortero producido en la antigüedad. Fue él quien aplicó la pala bra ce me nto en el sentido que tiene actualmente.

Entre 1815 - 1819 el francés J. Vicat (1786 - 1861), conocido por ser el inventor de los instrumentos para la determinación del fraguado de concreto y el alemán J. F. John (1782 - 1847) realizaron una investigación sobre las cales hidráulicas y dicha investigación los llevo a preparar una cal hidráulica artificial, mediante una mezcla de caliza y arcilla, molida juntas en húmedo en un molino. Además encontraron que un contenido de arcilla en la caliza de aproximadamente 27 - 30% ó bien una parte de arcilla por 3 de cal caustificada era la composición ideal para la elaboración de clinker.

A este proceso se le atribuye el primer ímpetu hacia la manufactura del CEMENTO PORTLAND.

La invención del prototipo del Cemento Portland que se usa hoy en día, se le atribuye al albañil inglés Joseph Aspdin, quien experimentalmente encontrara que "el producto de la calcinación de una mezcla artificial de dos componentes resultaba en un producto estable" conocido posteriormente con el nombre de CEMENTO PORTLAND. Este proceso fue patentado en Inglaterra el 12 de Octubre de 1824. El nombre de CEMENTO PORTLAND" le fue dado por su color, pues el mortero producido con él se parecía a una piedra natural usada en la construcción de edificios, la que se obtenía en las canteras de la Isla de Portland, Inglaterra.

Este proceso descubierto por Joseph Apsdin, logra la descarbonatación -

completa; más tarde continuando con los trabajos de su padre, William Aspdin, obtuvo el CEMENTO PORTLAND sinterizado mediante la cocción (quemado) de los materiales por arriba de la temperatura de descarbonatación, llegando a una fusión incipiente y con ello una mayor resistencia en el concreto producido. Se había determinado que la resistencia estaba en función de la relación cal-arcilla y de la temperatura de quemado.

En la primera mitad del Siglo XIX se empleaba en las construcciones el Cemento Romano Natural y después el Artificial. En la exposición de Londres en 1851 se difundieron las propiedades del CEMENTO PORTLAND y su utilización comenzó a extenderse mundialmente. A partir de esta fecha, los adelantos en la tecnología del CEMENTO PORTLAND se ven impulsados por la participación de otras naciones avanzadas como Alemania y Francia.

La primera de ellas inicia entre 1855 - 1859 la industrialización del cemento mediante la construcción de dos plantas; la de Zulchow cerca de Setting, y la de Oberkassel próximo a Bonn.

Francia participa con los estudios de H. Le Chatelier (1850 - 1936) que tratan sobre la mineralogía y físico-química del cemento.

En 1877 se funda la Asociación Alemana de Fabricantes de Cemento, que se dió a la tarea de crear y establecer normas para el CEMENTO PORTLAND las cuales fueron publicadas en 1878; En 1901 publica las normas para el Cemento Sidérgico y en 1907 las del Cemento de Alto Horno.

En los Estados Unidos en el laboratorio Geofísico y en el Bureau de Standards se hicieron las primeras investigaciones sobre la resistencia y composición del cemento. Dichas investigaciones fueron las primeras realizadas en toda América.

#### BREVE HISTORIA DEL CEMENTO EN MEXICO (datos 1986)

Los principios del siglo XX marcaron en nuestro país el comienzo de la industria del cemento, que partiendo de cero, alcanza, con gran esfuerzo, ochenta años después, una capacidad de treinta y dos millones de toneladas anuales de cemento de excelente calidad a nivel internacional.

En 1906, se instala en el estado de Nuevo León, la primera fábrica mexicana de cemento Portland; para 1911 se habían instalado ya otras dos nuevas plantas en el estado de Hidalgo. El cemento producido por estas tres plantas -

mexicanas, apoya la construcción de las grandes obras iniciales del México actual y sustituye la importación de cemento inglés y canadiense utilizado en nuestro país.

Durante la lucha revolucionaria el consumo del cemento descendió a niveles muy bajos. En 1910 fue de 60,000 toneladas, y no es sino hasta 1922 cuando se recupera la producción alcanzada en 1910, la cual representó solamente la tercera parte de la capacidad de producción instalada en ese entonces.

Años más tarde, la crisis económica ocurrida a principios de la década de los treinta, ocasiona nuevamente una disminución del consumo del cemento en México, reduciendo la producción de 1932, el año más crítico, a 137,000 toneladas, equivalente a un tercio de la capacidad de producción instalada en dicha fecha.

La estabilidad política y social del país, fue determinando el crecimiento de la demanda de cemento y la industria correspondió con la apertura de nuevas fábricas que superaban con su capacidad de producción los requerimientos del mercado. Se mantendría hasta 1974.

Respondiendo a la necesidad requerida por el país, la industria cementera concertó una serie de acciones con las autoridades gubernamentales, comprometiéndose a un programa de desarrollo, cuyo objeto era el de duplicar la producción y para ello, los industriales realizaron enormes inversiones, lo que permitió llevar la capacidad instalada que en 1973 era de 11.6 millones de toneladas, a 32 millones de toneladas que actualmente posee, casi triplicando en poco más de una década su capacidad productiva.

Si bien lo anterior coadyuvó al cumplimiento del Plan Global de Desarrollo, las expectativas de crecimiento del país, a partir de 1982, han sido dramáticamente distintas a las proyectadas y actualmente existe una gran contracción en la demanda y una excesiva capacidad instalada, lo que obliga a buscar nuevas estrategias y compromisos que aseguren la sana supervivencia de la Industria Cementera Nacional.

Las plantas cementeras de México se encuentran estratégicamente localizadas en forma tal que no existe ningún lugar en el territorio nacional distante más de 400 kilómetros de una fábrica de cemento.

En el presente se cuenta con 30 plantas. El crecimiento promedio de la Industria en los últimos 20 años, ha sido de 10.5% anual en la capacidad instalada y de 8.1% en la producción real.

En la Figura C1 se muestra la localización geográfica de las plantas de Cemento en México, en la Figura C2 se muestra en gráfica la capacidad instalada de cemento para el período 1906 - 1986. En la Tabla C3 se indica la capacidad anual de las plantas productoras de cemento, período 1977 a 1986. En la Figura C4 se muestra el Diagrama de Flujo del Horno No. 1 de Planta Huichapan. En Figura C5 se muestra el Diagrama de Flujo del Molino de Materia Prima y en Figura C6 el Diagrama de Flujo de Molino de Cemento.

## 1.2.1 Materias Primas

Silice, aluminio, hierro y calcio, son los elementos más abundantes en la corteza terrestre además del oxígeno.

Estos cuatro elementos aparecen, en muchos minerales. Para la fabricación del cemento se requiere de ellos cuatro. Existen tres posibilidades para producir una mezcla ó harina cruda que contenga estos cuatro elementos con las proporciones correctas:

- a) Obtener directamente de la naturaleza la "PIEDRA DE CEMENTO-NATURAL". Los cuatro elementos se encuentran en proporción correcta en la roca natural. Los tipos más conocidos son el Cemento Romano en Inglaterra y el Cemento Rosendale en Estados Unidos. Son casos ideales pero también muy raros. Los cementos naturales producen más bajas resistencias mecánicas y tienen más elevadas finezas.
- b) Se buscan los cuatro componentes puros y se mezclan en la proporción adecuada. Cabe aclarar que la homogenización y quemado de los componentes puros consume mucho más energía.
- c) La mezcla de diferentes componentes para obtener la harina cruda que se requiere. Existe una gran variedad de piedra caliza y de arcilla. Estas rocas que contienen carbonatos de calcio y silicatos deben ser mezclados en la proporción correcta. El contenido de aluminio y hierro se debe adaptar mediante la adición de minerales ricos en esos elementos. Es esta la forma más común de producir una mezcla cruda de cemento.

La piedra caliza y la arcilla son las encargadas de proporcionar el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). La primera (Piedra Caliza) en mayor proporción que la segunda, Produciendo, con la adición de calor el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ).

Además de óxido de calcio se requiere de:



- Dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ )
- Óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- Óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

La proporción en la que se manejan estos cuatro compuestos para lograr la formación del cemento, se encuentra dentro de los siguientes límites.

CaO	63%	±	3%
$\text{SiO}_2$	22%	±	2%
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5%	±	2%
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3.5%	±	2%
MgO	2.5%	±	2%

Cabe aclarar que el óxido de magnesio no se mencionó anteriormente debido a que su presencia, no es indispensable pero se encuentra como impureza en las materias primas requeridas.

A continuación se presenta la Tabla (1.1) donde se mostrará la forma en la que generalmente afectan los compuestos principales de la materia prima en el quemado de clinker y las propiedades del cemento.

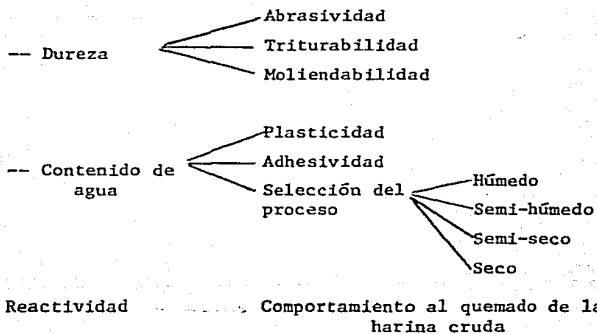
TABLA 1.1 INFLUENCIA DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS  
(tendencias)

	a Quemado de clinker	b Propiedades del cemento
CaO $\text{SiO}_2$		Responsable de la resistencia del cemento endurecido.
$\text{Al}_2\text{O}_3$	Baja el punto de sinte- rización.	Contribuye a una resis- tencia en edad temprana.
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Baja punto de sinte- rización.	Su contribución a la re- sistencia carece de im- portancia.

Se debe siempre de considerar el hecho de que sustancias de una misma composición química pueden tener diferentes propiedades. Esto se debe a la diferente estructura mineralógica.

En la Tabla (1.2), se presenta la forma en la que afecta la estructura mineralógica en la materia prima del cemento.

TABLA 1.2 INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA MINERALOGICA EN LAS MATERIAS PRIMAS DEL CEMENTO



Algunas veces se agregan materiales de alta concentración en alguno de los cuatro componentes principales de la materia prima, con el fin de obtener la mezcla de harina cruda deseada. Estos materiales son conocidos como correctivos. La Tabla 1.3 da algunos ejemplos y el compuesto que se encuentra en grandes proporciones en el material correctivo agregar.

TABLA 1.3 MATERIALES CORRECTIVOS

-- Caliza de alto grado (para CaO)
-- Cuarzo (para SiO)
-- Bauxita (para Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
-- Mineral de hierro ó ceniza de piritita (para Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )

## 1.2.2 Control de las Materias Primas

Para llevar un Control de Calidad de la materia prima (harina - cruda), es de suma importancia la relación existente entre los cuatro elementos bases de formación del cemento. A dicha relación se le llama módulo.

Enseguida se listan en la Tabla (1.4) cada uno de los módulos, la forma de calcularlo y su valor aproximado para la mezcla de materia prima en el caso del Cemento Portland.

TABLA 1.4 MODULOS DEL CEMENTO

MODULO	FORMA DE CALCULARLO	VALOR APROXIMADO
De silicato	$\frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3}$	1.8 - 3.6
De alúmina	$\frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{Fe}_2\text{O}_3}$	1.0 - 3.0

El calculo de saturación de la cal nos indica la cantidad de - Oxido de Calcio (CaO) que puede combinarse con los llamados componentes ácidos disponibles (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) en una mezcla cruda durante el quemado o sea durante la formación del clinker. La forma de obtenerlo es la siguiente:

$$\text{Sat. de la Cal} = \frac{100 \text{ CaO}}{2.8 \text{ SiO}_2 + 1.13 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.65 \text{ Fe}_2\text{O}_3}$$

El valor aproximado que debe tener la saturación de la cal es de 90 a 100% para el caso del Cemento Portland. Es de hacer notar, que para la obtención de esta relación no se toma en cuenta el contenido de óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ).

La Tabla (1.5) nos muestra la influencia de los diferentes módulos y de la saturación de la cal sobre el proceso de quemado, y sobre la composición del clinker y el tipo de cemento que origina. La Tabla es válida sólo como una indicación de tendencias generales.

TABLA 1.5 INFLUENCIA DE LOS MODULOS SOBRE EL CLINKER Y EL CEMENTO

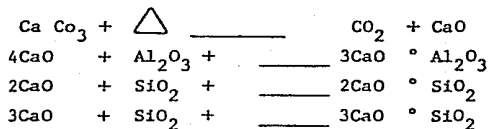
Proporción	Influencia sobre el proceso de quemado (tendencias)	Influencia sobre composición del clinker* y tipo de cemento** (ten)
Elevado módulo de silicato	si $\text{SiO}_2$ ↓ alúmina ↓, hierro ↓, : — elevada temperatura de clinkerización, difícil de quemar	— $\text{C}_3\text{A}$ ↓, $\text{C}_4\text{AF}$ ↓ — ASTM-Tipo I
Bajo módulo de silicato	si $\text{SiO}_2$ ↓ alúmina ↓, hierro ↓, : — menor temperatura de clinkerización, fácil quemado si saturación de cal ↓ : — formación de anillo	— $\text{C}_3\text{A}$ ↑, $\text{C}_4\text{AF}$ ↑ — ASTM-Tipo I
Elevado módulo de alúmina	si alúmina ↑, hierro — : — menor temperatura de clinkerización si alúmina ↓, hierro ↓, : — no hay cambio	— $\text{C}_3\text{A}$ ↑, $\text{C}_4\text{AF}$ ↓ — ASTM-Tipo I
Bajo módulo de alúmina	si alúmina ↓, hierro ↓, : — menor temperatura de clinkerización — reacción de clinkerización acelerada :	— $\text{C}_3\text{S}$ ↓, $\text{C}_4\text{AF}$ ↑ — ASTM-Tipo II y V resistente al sulfato
Elevada saturación de cal	difícil de quemar	— $\text{C}_3\text{S}$ ↑, $\text{C}_2\text{S}$ ↓ — ASTM-Tipo III
Baja saturación de cal	fácil de quemar	— $\text{C}_3\text{S}$ ↓, $\text{C}_2\text{S}$ ↑ — ASTM-Tipo II y IV

### 1.2.3 Reacciones Químicas en la Formación del Cemento.

Como se mencionó en la sección anterior los cuatro compuestos bases en la producción del cemento son:

- Oxido de Calcio (CaO)
- Dióxido de Silicio (SiO<sub>2</sub>)
- Oxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- Oxido de Hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Sin embargo, estos cuatro compuestos reaccionan entre sí ayudados por la acción térmica para producir lo que en realidad conocemos como cemento. Las reacciones son las siguientes:



Las temperaturas necesarias para que las reacciones se lleven a cabo varían de 600 - 1450 °C. Siendo las temperaturas más bajas para la reacción de desprendimiento de CO<sub>2</sub> y formación del CaO y las más altas (1450° C - aprox.) las necesarias para la formación de alita y belita.

En la Tabla (1.6) se enumeran los compuestos formados, con sus nombres científicos y comunes, así como también la abreviatura con la que se manejan dentro de las empresas que fabrican cemento.

TABLA 1.6 COMPOSICION DEL CEMENTO

<u>NOMBRE DEL COMPUESTO</u>	<u>COMPOSICION</u>	<u>ABREVIATURA</u>
Silicato tricálcico	3 CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Silicato dicálcico	2 CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Aluminio tricálcico	3 CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Alumínoferrito tetracálcico	4 CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .fe2O3	C <sub>4</sub> AF

## 1.2.4 Tipos de Cemento Portland según la A.S.T.M.

TABLA 1.7 TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

<u>TIPO</u>	<u>DESCRIPCION GENERAL</u>	<u>USO</u>
Tipo I	Normal y ordinario	Para construcción de concreto en general donde no se requieren propiedades especiales.
Tipo IA	Normal con inclusor de aire	Para la construcción de concreto general, con exposición a congelación-severa, donde no se requiere ninguna otra propiedad especial más que el aire atrapado.
Tipo II	Modificado	Para la construcción de concreto en general, expuesto a la acción moderada de los sulfatos ó donde se requiere que el calor de hidratación sea algo más bajo que el del cemento normal.
Tipo IIA	Modificado con inclusor de aire	Para construcción de concreto expuesto a la acción severa de la congelación y a moderada acción de sulfatos.
Tipo III	Alta resistencia	Para usarse cuando se requiere un rápido endurecimiento.
Tipo IIIA	Alta resistencia con inclusor de aire	Para endurecimiento rápido y exposición severa a la congelación.
Tipo IV	Bajo calor de hidratación	Para usarse donde se requiere que el calor de hidratación sea mínimo.
Tipo V	Resistente a los sulfatos	Para usarse donde se requiere una alta resistencia a la acción de los sulfatos.
Albañilería Tipo I	Con inclusor de aire	Para usarse en albañilería donde no se requiere alta resistencia.

<u>TIPO</u>	<u>DESCRIPCION GENERAL</u>	<u>USO</u>
Albañilería Tipo II	Con inclusor de aire alta resistencia	Para uso general donde se requieren morteros de alta resistencia para albañilería.
Tipo IS	Cemento de escoria de alto horno	Cemento Portland de escoria de alto horno para uso en la construcción de concreto en general.
Tipo IS-A	Cemento de escoria de alto horno con inclusor de aire	Cemento de escoria de alto horno, Portland, aire retenido para uso de la construcción de concreto en general.

### 1.3 EVOLUCION DE LOS HORNOS PARA CEMENTO

Hace más de 2000 años se usaron hornos verticales y formas simples de hornos con chimenea para quemar cal. La historia nos cuenta que los romanos usaron un horno vertical para quemar cal puzolánica. De la Edad Media se sabe que en Holanda se fabricaba un tipo de cemento hidráulico a base de cal y toba en hornos de cúpula. En tiempos posteriores, durante el Siglo XVIII se utilizaron los llamados hornos de botella y de chimenea.

En 1824 Joseph Aspdin inventor del Cemento Portland, utilizaba hornos de cúpula con una altura aproximada de 36 pies, un diámetro de 17 pies y una producción de aproximadamente 15 toneladas por carga, cada una de las cuales requerían varios días para ser producida. El consumo de combustible se elevaba al 50% del peso del clinker en carbón, lo que corresponde a 3700 KCAL/KG clinker.

El desarrollo primitivo del horno rotatorio probablemente se inició alrededor de 1877 en Inglaterra, pero generalmente se acredita a Frederick Ransome de ser el creador del primer horno rotatorio con éxito, el cual patentó en Inglaterra en 1885. Aunque los primeros hornos Ransome fueron un avance en la industria del cemento en aquella época, pasaron muchos años antes de que se produjeran con verdadero éxito.

El primer horno rotatorio económico en América fue desarrollado por Harry Seam de la Compañía de Cemento Atlas y empezó a trabajar en 1895.

En 1880 se dió un importante paso en el desarrollo de hornos verticales de alimentación continua que permitían una economía de calor mucho mayor. Un ejemplo de tales hornos fue el horno de dos pisos Dietzche.

Los hornos verticales fueron más utilizados durante esta época en Europa que en América, donde se manejaban los hornos rotatorios. Los hornos verticales tenían menos requisitos térmicos y potenciales por tonelada de clinker producido que los hornos rotatorios. Estos últimos sin embargo necesitaban menos manos de obras, tenían menos porcentaje de desecho de clinker y aún más importante, producían un material final más uniforme.

Estos primeros hornos rotatorios fueron hornos de vía húmeda con una capacidad diaria de 50 a 100 toneladas. Su consumo de calor fue elevado (aproximadamente 30% del clinker en carbón = 9'500 KJ/KG clinker) y tenían una emisión de polvo muy alta (usualmente más de un tercio de la producción total). A fin de disminuir el consumo de calor se instalaron sistemas de cadenas en hornos de vía húmeda con el objeto de mejorar la transmisión de calor durante el secado. Con el mismo propósito, al lado de los hornos largos de vía seca se colocaron calderas de vapor para aprovechamiento del calor perdido.

Treinta años más tarde pudo lograrse una nueva reducción sustancial de las pérdidas de energía calorífica gracias a una disminución del contenido de agua del material de alimentación y a un mejor intercambio de calor en la zona de precalentamiento y calcinación. En 1930 el Dr. Lellep (de nacionalidad rusa), desarrolló el precalentador de parrilla transportadora, alimentado con nódulos húmedos. Esta invención fue adoptada por Polysius y recibió el nombre de horno LEPOL. Algunos años más tarde, hubo una patente checa de un precalentador de crudo por ciclón y en 1953, Kloeckner-Humboldt-Deutz SA en Alemania instaló el primer sistema precalentador de crudo por suspensión. A partir de este momento este tipo de horno se hizo predominante en razón de la economía-



de calor que permitía y hoy en día sólo en casos especiales se eligen - otros sistemas. En años anteriores, la razón principal para la selec - ción de la vía húmeda era que la única forma de lograr una homogeniza - ción efectiva del crudo molido era en forma de pasta. Con el desarrollo de técnicas especiales para la homogenización de material seco tales - como pilas de prehomogenización, silos de cámaras mezcladoras, etc., es - te factor pudo ser eliminado.

Utilizando una idea más bien antigua, desde el año 1966 fabricantes de - maquinaria para la producción de cemento, especialmente japoneses, han - diseñado varios sistemas de hornos precalcinadores que operan en forma - satisfactoria. En el precalentador de suspensión tradicional, se logra - entre un 15 - 20% de calcinación. Intercalando en la última etapa del - precalentador y el horno un hogar secundario o precalcinador se logra - hasta un 90 - 95% de calcinación de la harina cruda.

En el precalcinador se suministra combustible y se aprovechan partes de - los gases calientes del enfriador de clinker; con lo cual se integra par - te de la energía generada en el proceso.

C A P I T U L O 2

## 2. PROCESO DE FABRICACION DEL CEMENTO

### 2.1 EXTRACCION DE LAS MATERIAS PRIMAS Y TRANSPORTE

Para fabricar cemento pueden utilizarse tanto minerales de origen natural como productos industriales. Como materiales de partida sirven sustancias minerales, que contienen los componentes principales del cemento: cal, sílice, alúmina y óxidos de hierro. Estos componentes raramente se encuentran en las proporciones deseadas, en una sola sustancia. Por tanto, la mayoría de las veces se ha de elegir la mezcla de un componente rico en cal (componente calcáreo) con otro pobre en cal pero que contiene más alúmina y óxidos de hierro (componentes arcillosos).

Algunas veces la cementera se encuentra situada cerca de su materia prima, pero en muchas ocasiones al menos parte de la materia prima es traída de otros lugares. La forma de transporte es a base de ferrocarril o camiones los cuales la depositan en pilas de almacenamiento para luego ser procesada.

A continuación se nombran algunos de los principales componentes y sus características.

#### 2.1.1 Caliza

El componente calcáreo puede ser la caliza, la creta o la marga. El carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) abunda en la naturaleza. Para fabricar Cemento Portlanda es adecuado el procedente de todas las formaciones geológicas. Las formas más puras de caliza son el espato calizo (calcita) y el aragonito. El espato calizo cristaliza en el sistema hexagonal y el aragonito, en el rómbico. Una variedad de espato calizo, de grano macroscópico, es el mármol. Sin embargo sería antieconómico emplear mármol para fabricar cemento.

Las formas más comunes del carbonato cálcico están constituidas

por la caliza y la creta. La caliza posee, por lo general, estructura cristalina de grano fino. La dureza de la caliza viene determinada por su edad geológica; cuanto más antigua es la formación tanto más dura suele ser la caliza. Solamente los yacimientos de caliza muy pura son de color blanco.

Usualmente la caliza contiene otros materiales pertenecientes a sustancias arcillosas o a minerales de hierro que influyen en su color.

La explotación de la caliza se realiza a base de explosivos y debido a su dureza debe ser triturada.

#### 2.1.2 La Creta

Es una roca sedimentaria que geológicamente es, en cierto modo, joven. En oposición a la caliza, la creta posee una estructura suelta, térrea; esta propiedad califica a la creta, de modo especial, para la fabricación del cemento por vía húmeda. Como la extracción de la creta no exige explosivos ni tampoco se ha de triturar, el costo de componente disminuye de modo considerable de la fabricación del cemento. En algunos yacimientos el contenido en carbonato cálcico de la creta llega al 98 - 99% con adiciones de poca monta de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Mg CO}_3$ .

Por consiguiente, las propiedades físicas de este componente tienen una influencia decisiva en la elección del proceso de fabricación del cemento y de los dispositivos de su realización.

#### 2.1.3 La Marga

A las calizas que van acompañadas de sílice y de productos arcillosos, así como de óxido de hierro, se les llama margas. Las

margas forman el paso de transición a las arcillas. Debido a su abundancia, las margas se utilizan con mucha frecuencia como ma - teria prima para la fabricación de cemento.

Geológicamente, son rocas sedimentarias originadas por la deposición simultánea de carbonato de calcio y de material arcilloso. - La dureza de la marga es menor que la de la caliza; cuanto más - elevada es su concentración en material arcilloso, tanto menos du - ra se presenta. Las margas son un excelente material para la fa - bricación de cemento, puesto que contienen el material calcáreo - y arcilloso en estado homogeneizado. Las margas calcáreas, cuya - composición coincide con el crudo del Cemento Portland, hallan - aplicación en la fabricación del llamado cemento natural. - Sin embargo es raro hallar yacimientos de tales materias primas.

#### 2.1.4 Arcilla

La segunda materia prima importante para la fabricación de cemen - to es la arcilla. Las arcillas, en esencia, son productos de me - teorización de silicatos de los metales alcalinos y alcalinoté - rreos, en particular de los feldespatos y micas.

La parte principal de las arcillas está formado por hidrosilica - tos de alúmina. Las arcillas se clasifican en los siguientes gru - pos de minerales: grupo de caolín, grupo de la montmorillonita - y grupo de las arcillas que contienen metales alcalinos ó alcali - notérreos.

Los minerales del grupo del caolín se distinguen por su diferente riqueza en  $\text{SiO}_2$ , así como por su estructura cristalográfica y - sus propiedades ópticas. La denominación de caolinita se aplica - al mineral caolín puro. Los minerales de la arcilla tienen tex - tura de grano fino; el tamaño de grano queda por debajo de las 2 - micras de diámetro.

## 2.2. MOLIENDA DE MATERIA PRIMA Y HOMOGENIZACION

El molino o triturador a utilizar dependerá del material a manejar, su dureza, la humedad que contenga y el grado de molienda que se desee.

Si tenemos un proceso-seco, que es el más común dentro del Grupo Cementos, el procedimiento es el siguiente:

La caliza, que llega a la fábrica en piedras de hasta 60 centímetros, es "quebrada" en un TRITURADOR PRIMARIO DE BARRAS de donde sale con una dimensión máxima de 5 centímetros, de ahí pasa al TRITURADOR SECUNDARIO DE MARTILLOS que la reduce a una dimensión máxima de 1 centímetro. Posteriormente se envía a almacenarse en un gran silo, donde queda depositada en forma de "finos", que es prácticamente polvo, hasta grava de un centímetro.

Por otra parte la sílica, que es muy abrasiva, es "machacada" en un TRITURADOR DE QUIJADA, que la deja con una medida máxima de tres y medio centímetros; en seguida la recibe un TRITURADOR DE CONO que baja su dimensión a un centímetro y posteriormente es enviada a mezclarse con la arcilla.

La arcilla no presenta tanto problema como las otras dos materias primas, siendo fácilmente "molida" en un TRITURADOR DE MARTILLOS. Lo interesante ocurre en la PREHOMOGENEIZACION DE ARCILLA, en donde ésta es combinada en una proporción de 90 a 92 por ciento con un 8 a 10 por ciento de sílica. La homogenización, cuyo propósito es que los materiales se mezclen perfectamente, se realiza en un gran almacén, donde se van depositando horizontalmente capas de material, que posteriormente serán "cortadas" verticalmente. Al realizar esta operación el material es homogeneizado constantemente.

La sílica y la arcilla ya homogenizadas pasan al SECADOR, donde mediante calor pierden la humedad que traen de la cantera, pasando a ser alma

cenadas en un Silo que se encuentra junto al de Caliza.

La segunda parte del proceso se inicia en el MOLINO DE BOLAS PARA CRU - DO que recibe aproximadamente, dependiendo del tipo de cemento que esté produciendo, un 72 por ciento de Caliza, un 27 por ciento de Arcilla-Sílica y un 1 por ciento de mineral de Fierro. Estos porcentajes de materia prima son electrónicamente dosificados y registrados hora por hora mediante un Espectómetro de Rayos X.

El Molino funciona automáticamente, de tal manera que según sea la carga circulante aumenta ó disminuye su dosificación. Este Molino es un gran cilindro que se encuentra girando en posición horizontal; en su interior se encuentran una gran cantidad de bolas de acero de 50 a 80 milímetros de diámetro en la primera cámara y de 20 a 25 en la segunda, las cuales estan golpeando y moliendo constantemente los materiales que ahí se encuentran.

El producto que se obtiene en el Molino es enviado a un SEPARADO DE AIRE donde los "gruesos" se regresan a ser molidos nuevamente y los "finos" son enviados mediante un sistema de bombeo a los SILOS DE HOMOGENIZACION de harina cruda.

### 2.3

#### QUEMADO

El quemado es la tercera parte del proceso de fabricación del cemento.

La harina cruda es alimentada al Horno a través de un PRECALENTADOR CON PRECALCINADOR, el cual logra una mezcla íntima con los gases de combustión del Horno, haciendo que la harina cruda aumente su temperatura hasta 900°C antes de entrar al Horno.

El HORNO es el corazón del proceso de fabricación del cemento. Este es un cilindro de acero, de 60 a 100 metros de largo por unos

cuatro de diámetro, cuyo interior se encuentra totalmente recubierto de ladrillo refractario. Este enorme cilindro se encuentra en rotación permanente y con una ligera inclinación, para que la harina cruda que se introduce por el lado más elevado se vaya desplazando por gravedad hacia la parte más baja.

El interior del Horno tiene diferentes zonas de calor, la más elevada llega a los 1,450°C. Aquí la materia prima se descarbonata y sigue su fase de calcinación y sinterización; el carbonato cálcico se convierte en óxido de calcio y éste se combina con los óxidos de sílice, hierro, etc., formando silicatos, que son los principales componentes del ce - mento.

Los gases extraídos del Horno van cargados de polvo, el cual es reunido en un COLECTOR DE POLVO y enviado nuevamente al proceso junto con la harina cruda de alimentación.

Del Horno no sale el cemento que conocemos comúnmente, sino que salen una bolas de uno 10 a 30 milímetros de diámetro, de un color gris verdoso y muy porosas a las que se denomina "CLINKER".

#### 2.4

#### MOLIENDA DE CEMENTO, ALMACENAMIENTO Y ENVASADO DEL CEMENTO

El Clinker es almacenado en un Silo y de ahí es dosificado junto con yeso, en una proporción aproximada de 96 por ciento Clinker y 4 por ciento Yeso, al MOLINO DE BOLAS PARA CEMENTO. El producto de este Moli no es el Cemento, que es enviado a un SEPARADOR DE AIRE donde los "gruesos" regresan a ser molidos nuevamente y los "finos" son enviados me dian te una banda hacia los SILOS DE CEMENTO.

De los Silos de Cemento el producto está listo para ser ensacado ó en viado a granel, utilizando Camiones Pipa ó Carros Tanque de Ferrocarril.



cuatro de diámetro, cuyo interior se encuentra totalmente recubierto de ladrillo refractario. Este enorme cilindro se encuentra en rotación permanente y con una ligera inclinación, para que la harina cruda que se introduce por el lado más elevado se vaya desplazando por gravedad hacia la parte más baja.

El interior del Horno tiene diferentes zonas de calor, la más elevada llega a los 1,450°C. Aquí la materia prima se descarbonata y sigue su fase de calcinación y sinterización; el carbonato cálcico se convierte en óxido de calcio y éste se combina con los óxidos de sílice, hierro, etc., formando silicatos, que son los principales componentes del cemento.

Los gases extraídos del Horno van cargados de polvo, el cual es reunido en un COLECTOR DE POLVO y enviado nuevamente al proceso junto con la harina cruda de alimentación.

Del Horno no sale el cemento que conocemos comúnmente, sino que salen una bolas de uno 10 a 30 milímetros de diámetro, de un color gris verdoso y muy porosas a las que se denomina "CLINKER".

## 2.4

MOLIENDA DE CEMENTO, ALMACENAMIENTO Y ENVASADO DEL CEMENTO

El Clinker es almacenado en un Silo y de ahí es dosificado junto con yeso, en una proporción aproximada de 96 por ciento Clinker y 4 por ciento Yeso, al MOLINO DE BOLAS PARA CEMENTO. El producto de este Molino es el Cemento, que es enviado a un SEPARADOR DE AIRE donde los "gruesos" regresan a ser molidos nuevamente y los "finos" son enviados mediante una banda hacia los SILOS DE CEMENTO.

De los Silos de Cemento el producto está listo para ser ensacado o enviado a granel, utilizando Camiones Pipa o Carros Tanque de Ferrocarril.

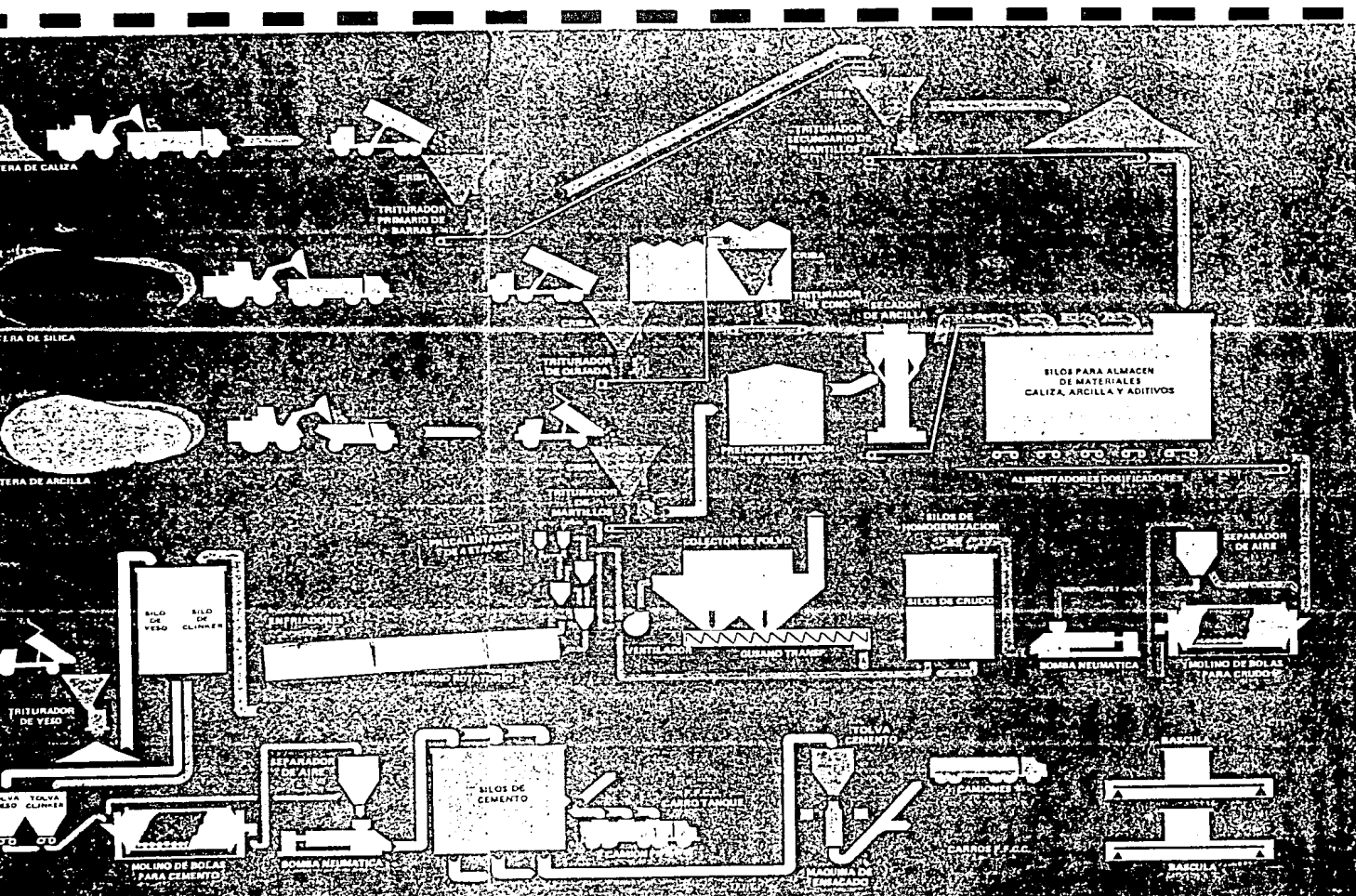


DIAGRAMA DE FLUJO PARA

CAPITULO 3

### 3. TIPOS DE HORNOS ROTATORIOS

#### 3.1 HORNOS LARGOS DE VIA SECA Y HUMEDA

Los Hornos Rotatorios largos son las máquinas más simples para la producción de cemento. Fueron los más usados pero actualmente debido a su elevado consumo de combustible y emisión de polvos están prácticamente descontinuados.

En este tipo de hornos el clinker se cocciona en un largo tubo-rotatorio, a veces incluso sin ningún otro equipo adicional - para la transmisión de calor. Por ello, el intercambio térmico de los hornos de cemento de tipo largo es generalmente muy malo en comparación con el logrado en plantas precalentadoras modernas. Los polvos arrastrados son del orden del 10% de la producción de clinker.

#### Hornos largos de vía seca

Hornos largos de vía seca existen con o sin equipos de intercambio de calor interno, como cadenas o cruces. El primer tipo es muy antieconómico por tener un consumo de calor superior a - 1'200 KCAL/KG CLINKER y pérdidas de polvo muy elevadas. Su única ventaja podría radicar en su simplicidad y en su insensibilidad frente a graves problemas de circulación.

En algunos casos los hornos largos con cruces son también alimentados con nódulos en lugar de harina cruda.

#### Hornos largos de vía húmeda

Durante mucho tiempo, los hornos largos de vía húmeda han sido las instalaciones de clinkerización más corrientes, pero a causa del alto contenido de agua del material de alimentación, - su consumo de calor alcanza valores más de dos veces superiores al de los hornos modernos de vía seca, por lo cual actualmente se usan muy poco.

En los hornos largos de vía húmeda el material crudo molido y homogenizado se bombea en forma de pasta dentro de la boca del horno y presenta un contenido de agua del 32 al 42%.

Una posibilidad de disminuir el consumo de combustible es reducir el contenido de agua de la pasta por medio de "FLUIDIFICADORES" por ejemplo carbonato de sodio, buxita de desecho, etc. Estos componentes permiten reducir el contenido de humedad de la pasta a un 25 - 30% sin que esta pierda su bombeabilidad.

Los problemas de transportación son fáciles de resolver por que las zonas de temperatura peligrosa se encuentran dentro de la parte rotatoria del horno y la emisión de polvo es alta. Clinker de bajo contenido de álcali puede ser simplemente producido descargando tanto polvo enriquecido del horno como sea necesario.

### 3.2 HORNOS DE VIA HUMEDA CON PRECALENTADORES

El hecho de agregar un precalentador al horno de vía húmeda fue con el propósito de reducir el consumo de combustible y con ello elevar su eficiencia térmica, a la vez que la longitud del horno se ve reducida considerablemente.

Dentro de los hornos de vía húmeda con precalentadores existen básicamente dos tipos que son: precalentadores de pasta externas y precalentadores de pasta interna.

#### Hornos de vía húmeda con precalentadores de pasta externos

Con el objeto de mejorar el intercambio de calor entre gas y pasta y de reducir el tamaño de los hornos, precalentadores de pasta externos han sido desarrollados por MIAG y KRUPP. Ambos son tambores giratorios llenados parcialmente con cuerpos intercambiadores de calor. Tales tambores tienen más o menos el mismo diámetro que el horno y su longitud es ligeramente inferior al diámetro. La capacidad de estas máquinas esta limitada a -

800 - 1,000 T/D y frecuentemente surgen problemas operativos. -  
Muy a menudo los precalentadores externos son causa de grandes-  
penetraciones indebidas de aire.

Tanto MIAG como KRUPP son empresas fabricantes de hornos.

#### Hornos de vía húmeda con precalentadores de pasta interna

F.L. Smidth (empresa fabricante de equipo para la producción -  
de cemento) diseñó un sistema precalentador de pasta integrado-  
dentro del compartimiento del horno, con el que pretendía evi -  
tar la desventaja de los precalentadores de pasta externos. En  
la práctica, esta construcción resultó muy propensa a las obtu-  
raciones. Un sistema mejor, desarrollado por Fives Cail-Bab -  
cock, es a base de cangilones elevadores y cortinas de cadenas-  
que crean una cortina de pasta que retiene gran cantidad de -  
polvo y mejora el intercambio de calor.

### 3.3 HORNOS PRECALENTADORES DE PARRILLA

Un sistema precalentador de parrilla consiste esencialmente en-  
un horno rotatorio corto, con una parrilla transportadora en -  
frente del mismo. En este sistema, la desecación, el precalen-  
tamiento y parte de la calcinación son efectuados por los gases  
de escape del horno. A fin de poder ser tratado sobre una pa -  
rrilla, la harina cruda debe ser preparada de una forma espe -  
cial.

La harina cruda seca se combina con agua (10... 15%) y de esta-  
mezcla se hacen luego nódulos en un tambor o sobre un plato no-  
dulador. Este sistema únicamente puede aplicarse para materia-  
les crudos que contengan componentes plásticos porque estos -  
permiten la formación de nódulos resistentes contra choques tér-  
micos y abrasión. El factor principal que influye sobre la -  
plasticidad es la composición mineralógica, especialmente la -  
presencia de montmorilonita. Una segunda posibilidad para la -  
preparación de crudo es la siguiente: En lugar de crudo seco,-

como material de partida se utiliza una pasta bombeable. Esta se hace pasar por prensas filtradoras que reducen su contenido de humedad a aprox. un 20%. En un tipo especial de estrujador (amasador-tamiz), la galleta de filtración se reduce a pedazos cilíndricos (diámetro 15... 20 mm, longitud 30 ... 50 mm) que se conduce directamente al precalentador de parrilla. La economía de este método de preparación depende en alto grado de las propiedades de filtración de la pasta.

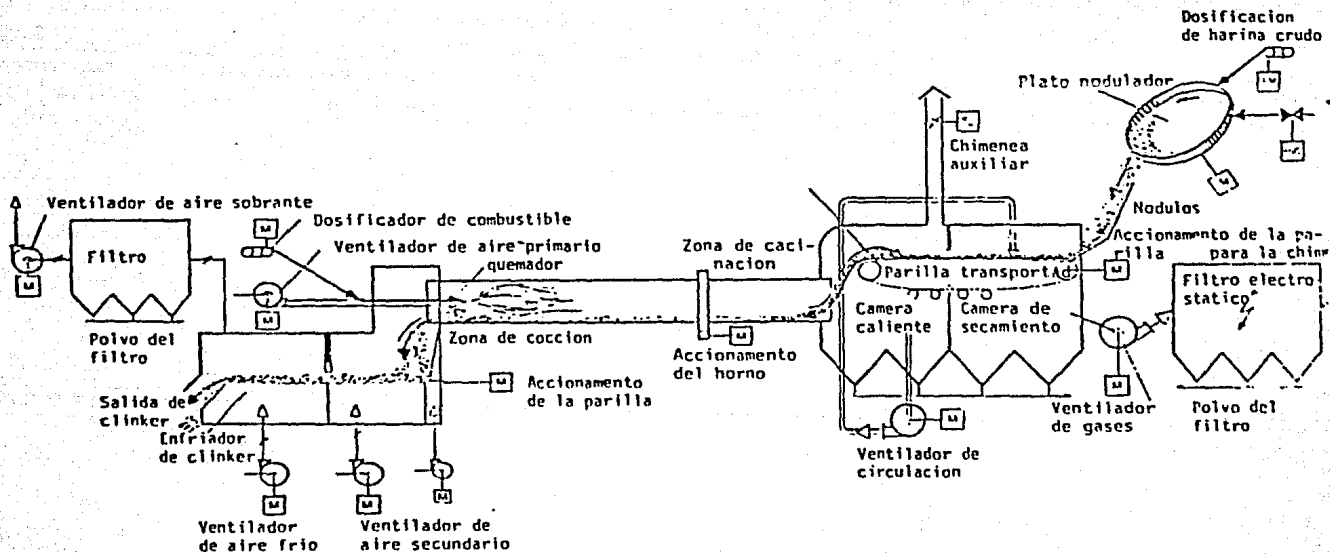
Sobre la parrilla el intercambio de calor entre el gas y los terrones los cuales forman un lecho fijo de aproximadamente 20 cm. de espesor, es excelente. En algunos precalentadores de parrilla, la precalcínación se efectúa con éxito, a menudo valiéndose incluso de combustible de desecho (como tierra de blanqueo, lodo ácido, aceites lubricantes residuales, etc.), gracias a la utilización de un hogar secundario o precalcínador.

El tipo de horno con precalentador de parrilla más común es el sistema LEPOL y ACL.

Este es el único precalentador de parrilla transportadora capaz de trabajar satisfactoriamente, fue desarrollado por Polysius y adquirió fama bajo la denominación de sistema LEPOL (concesionario americano: Allis Chalmers, sistema ACL). (La figura 3.1 que se expone a continuación muestra un esquema básico de un horno LEPOL alimentado con nódulos hechos de crudo seco).

Los gases calientes del horno pasan primero a través de una capa de nódulos secos y precalentados y acto seguido, después de un despolvamiento intermedio circula de nuevo a través de una capa de nódulos recientes, todavía húmedos.

Con este sistema de horno se puede producir un clinker de tamaño muy uniforme. La proporción de polvo en la atmósfera del horno y las emisiones de polvo al exterior del sistema son reducidas. En los casos en que el material crudo presenta una



M = motor

FIG. 3.1 HORNO DEL PROCESO SEMISECO (SISTEMA LEPOL)



fuerte concentración de elementos-traza (en especial álcali), -  
 el polvo fino, separado en el precipitador electrostático, se -  
 ve en alto grado enriquecido por aquéllos. En consecuencia, -  
 para reducir el excedente de estos componentes dentro del sis -  
 tema del horno únicamente hace falta eliminar una pequeña can -  
 tidad de polvo.

Este efecto hace que el horno LEPOL sea muy adecuado para pro -  
 ducir clinker de bajo contenido de álcali, con un consumo de -  
 calor más bien bajo.

Aparte de estas ventajas también puede surgir ciertos proble -  
 mas:

- Únicamente puede usarse material crudo plástico o se re -  
 quiere buenas propiedades de filtración si el horno se -  
 alimenta con terrones de galleta de filtración.
- La cadena de la parrilla está sometida a un cierto desgase -  
 te.
- Una distribución desigual de la temperatura a lo largo -  
 de la parrilla puede causar dificultades.
- Consumo de calor adicional teórico debido al contenido -  
 de agua del material de alimentación. Este efecto queda -  
 parcialmente compensado por la baja temperatura del gas -  
 de escape.
- Los gases de escape no pueden ser usados en sistemas de -  
 secado y molturación.

#### 3.4 HORNOS CON PRECALENTADORES POR SUSPENSIÓN Y PRECALCINADOR

Durante los últimos veinte años, los hornos precalentadores -  
 por suspensión se convirtieron en las máquinas más importantes -  
 para la producción de clinker. El material de alimentación uti -  
 lizado para este sistema es harina cruda seca.

Para secarla se aprovechan los gases de escape del horno. Acto

seguido crudo molido y desecado se homogeniza y a continuación - se introduce en el precalentador.

En este sistema, el crudo queda en suspensión en la corriente - de gases del horno. Podemos distinguir entre intercambiadores - de calor a contraflujo o en flujo concurrente. El primer grupo - esta representado por las etapas verticales y el segundo por los ciclones.

En las etapas verticales de suspensión a contraflujo el material - crudo cae a través de la corriente de gas ascendente. El inter - cambio de calor tiene lugar durante el tiempo de retención del - crudo en el sistema.

A consecuencia de fenómenos tales como turbulencia, etc., estos - precalentadores no son muy eficientes.

En las etapas de ciclón, la harina cruda se introduce en el con - ducto de gas de entrada. El intercambio de calor tiene lugar - durante el transporte neumático del crudo a través de este con - ducto en flujo concurrente con el gas. Acto seguido el ciclón - separa las partes sólidas de las gaseosas.

Las etapas de ciclón individuales están dispuestos de modo que - forman un sistema de contraflujo interrumpido. En la práctica - el precalentador de ciclón es más eficaz que el precalentador - de etapas verticales por suspensión a contraflujo.

A continuación se describen los dos tipos de precalentadores - mencionados en los párrafos anteriores.

Los precalentadores de ciclón, son el tipo de precalentador más - usado actualmente y los más comunes dentro de esta clase son el - de dos etapas y el de 4 etapas de ciclones. Para capacidades - de más de 2000 TONELADAS/DIA se recomienda utilizar sistemas de - precalentadores dobles; es decir de dos hileras de 4 ciclones - cada una y un precalcinador con el fin de obtener una mayor efi -

ciencia térmica y evitar obstrucciones en las etapas del precalentador. Para dar a conocer más a fondo los hornos con precalentador. Para dar a conocer más a fondo los hornos con precalentadores de ciclón, se detallan ahora las principales características de:

a) Hornos con precalentador de ciclones de una y dos etapas.

Antes que se desarrollaran los sistemas de precalcificación y by-pass, los problemas de circulación se resolvían muy a menudo usando hornos precalentadores de una y dos etapas. En ellos, la zona donde la temperatura alcanza un nivel que favorece las obturaciones se encuentra en la parte rotatoria del sistema. En esta parte la harina cruda se remueve y se puede reducir la tendencia del material a aglutinarse. Si en ella no obstante se producen aglutinaciones, estas son muy a menudo deshechas nuevamente por los movimientos de la carcasa del horno.

Si no existen problemas de circulación, la parte rotatoria a veces se equipa con intercambiadores de calor adicionales internos (cadenas, cruces) a fin de lograr una mayor economía de combustibles. Con frecuencia, los hornos precalentadores de una o dos etapas son hornos largos, de vía húmeda o seca, convertidos.

La producción de polvo de los dos sistemas bajo examen es mayor que para un precalentador de cuatro etapas.

b) Hornos precalentadores de ciclón de cuatro etapas.

Este tipo de horno es uno de los sistemas con menor consumo de combustible. Se ofrece en varias configuraciones con capacidad de hasta 4,500 T/D. La mayor parte

de ellos son combinaciones de etapas de ciclón individua -  
les o dobles.

A la salida del horno, el gas tiene todavía una temperatu-  
ra suficientemente elevada como para secar material crudo-  
con un contenido de humedad de hasta un 8%.

Desde este punto de vista, la temperatura relativamente -  
elevada del gas de salida no puede ser considerada como -  
una pérdida, ya que sin ella se requeriría la instalación-  
de un hogar auxiliar para el secado del material crudo.

El sistema precalentador ésta instalado en una torre de -  
acero o concreto que por lo general alcanza una altura de -  
60 a 70 m por encima de la boca del horno.

Este tipo de precalentador es muy propenso a problemas de-  
obturación, y esto se hace más importante cuando existe -  
una concentración excesiva de componentes conteniendo ál -  
calis, azufre, etc. Estos inconvenientes normalmente pue-  
den resolverse aplicando una o ambas de las siguientes me-  
didas:

- Instalación de un "SISTEMA BY-PASS", lo que significa -  
que parte de los gases caliente son retirados de la -  
boca del horno con el objeto de reducir la concentra -  
ción de componentes en circulación dentro del horno.  
Los gases extraídos, lo mismo que el polvo, no entran -  
más en el proceso.
- Instalación de un segundo hogar por debajo del ciclón -  
inferior a fin de cambiar el perfil de la temperatura -  
esto es un precalcinador.

Los precalentadores por suspensión verticales, son usados-  
principalmente debido a el costo implícito en la construc-

ción e instalación de los hornos con precalentador de ciclones. Diversos proveedores han desarrollado precalentadores autoportantes más simples consistiendo principalmente en algunas torres o recipientes verticales. En ellos, el intercambio de calor se produce a contraflujo, mediante una o dos etapas de ciclón, en la cumbre de la torre se elimina el polvo contenido en los gases del horno.

La principal ventaja de este sistema es que no necesita ninguna torre de sustentación. Sin embargo, el intercambio de calor es peor que en un precalentador de ciclón de cuatro etapas y el consumo de combustible ligeramente superior.

### 3.5 PRECALCINADOR

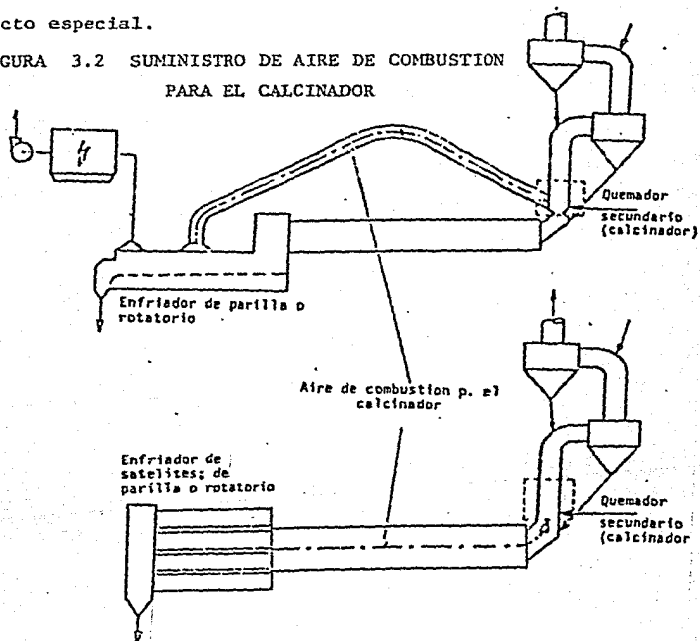
La idea de la precalcinción, es decir la separación de los procesos de clinkerización y de la calcinación, no es en modo alguno reciente.

Una patente que se remonta al año 1912 ya describe un procedimiento que proponía separar el proceso de clinkerización del de calcinación, precalentamiento y evaporación de agua en razón de que estos últimos consumen la mayor parte del calor requerido. Sin embargo debido a que en tiempos pasados el costo de los energéticos no era decisivo, como lo es actualmente, los sistemas de producción de cemento no se encaminaron hacia el ahorro de combustible como lo hacen actualmente. Es por ello, que el precalcinador se ha convertido en parte fundamental dentro de la producción cementera. El costo de el precalcinador es de 12.5% aproximadamente de la inversión total, pero es también la parte más importante respecto a la operación y economía de energía. Los sistemas de hornos precalcinadores están derivados de los hornos precalentadores con la diferencia que en los primeros el grado de calcinación del material crudo a la entrada del horno es de alrededor del 15% mientras que en los hornos con precalci-

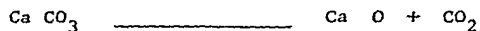
nador este porcentaje llega a ser del 90%.

Esto se logra quemando parte del combustible en esta zona ya sea en una cámara especial de precalcificación en el mismo precalentador. El aire requerido para esta combustión se obtiene del enfriador a través del mismo horno o insuflándolo a través de un ducto especial.

FIGURA 3.2 SUMINISTRO DE AIRE DE COMBUSTION PARA EL CALCINADOR



El concepto precalcificación significa que el material crudo se calcina en cierto grado antes de introducción en el horno. La calcinación, también designada como descarbonización, es la reacción de descomposición de los carbonatos, es especial del carbonato cálcico y en cierto modo también del carbonato magnésico:



Esta reacción consume calor, aproximadamente 396 KCAL/KG Ca CO<sub>3</sub>.

La disociación de los carbonatos en el crudo de cemento requiere aproximadamente 307 KCAL/KG de crudo, lo que corresponde aproximadamente a 540 KCAL/KG CLINKER. Considerando que los requerimientos de calor teórico para la formación de clinker son del orden de 400 KCAL/KG CLINKER, puede deducirse que la disociación es el factor predominante en el consumo de calor específico requerido para la formación de clinker.

El horno con precalcinador ofrece una manera de superar estas limitaciones de capacidad y de carga térmica de los hornos convencionales de 4 etapas.

El proceso de quemado se puede dividir en dos fases. La primera fase es un proceso endotérmico de precalentamiento de la mezcla cruda y de su calcinación. La segunda fase es la de clinkerización, cuando los óxidos parcialmente fundidos se combinan para formar los clinkers minerales. Este proceso es exotérmico con un valor aproximado de - 420 KCAL/KG CLINKER, y el valor neto es obtenido como:

CALCINACION:	- 540 KCAL/KG DE CLINKER
CLINKERIZACION:	<u>+ 120 KCAL/KG DE CLINKER</u>
	- 420 KCAL/KG DE CLINKER

La combustión en el precalcinador tiene lugar bajo condiciones muy distintas en comparación con el hogar principal (combustión en el horno rotatorio), en el cual:

- La temperatura de la atmósfera circundante a la combustión oscila entre 850 y 900° C (la temperatura de la llama en el hogar principal es del orden de 2'000° C).
- Algunos sistemas precalcinadores utilizan aire puro para la combustión, mientras que otros emplean una mezcla de aire y gas.
- En todos los sistemas precalcinadores, el crudo precalen-

tado se halla en suspensión en el aire de combustión o en la mezcla de gas y aire, respectivamente, con el objeto de absorber el calor desprendido, manteniendo de este modo la temperatura a un nivel comparativamente bajo. Aquí hay que evitar definitivamente toda sinterización de material, ya que ello provocaría obturaciones en la etapa de calcinación. Ver figura (3.3).

A causa de las condiciones de combustión menos favorables, no siempre es fácil obtener una combustión completa; más bien se requiere una cierta experiencia para lograr el resultado óptimo. Entre los varios parámetros que inciden sobre el resultado de la combustión, los más importantes son quizá los siguientes:

- Distribución óptima del combustible; Esto es, distribución del combustible en función del oxígeno disponible. La preparación del combustible (atomización) es esencial.
- El tiempo de retención para la combustión tiene que ser suficiente. La combustión tiene que completarse en la etapa de precalcinación, puesto que en la próxima etapa las menores temperaturas del gas son menos favorables y el calor ya no se aplica óptimamente.
- El flujo normal del aire o de la mezcla de gas y aire debe ser favorable para la combustión.
- La distribución de crudo en la zona de combustión tiene que ser óptima es decir, perjudicar la combustión lo menos posible. (Cabe señalar que tanto el  $\text{CaCO}_3$  como el  $\text{CO}_2$  pueden también reaccionar con C - carbón del combustible - y producir CO).

Por experiencia se sabe que concentraciones demasiado grandes de crudo dificultan considerablemente el logro de una combustión completa.

De ello se desprende que tanto el diseño del precalcinator como -



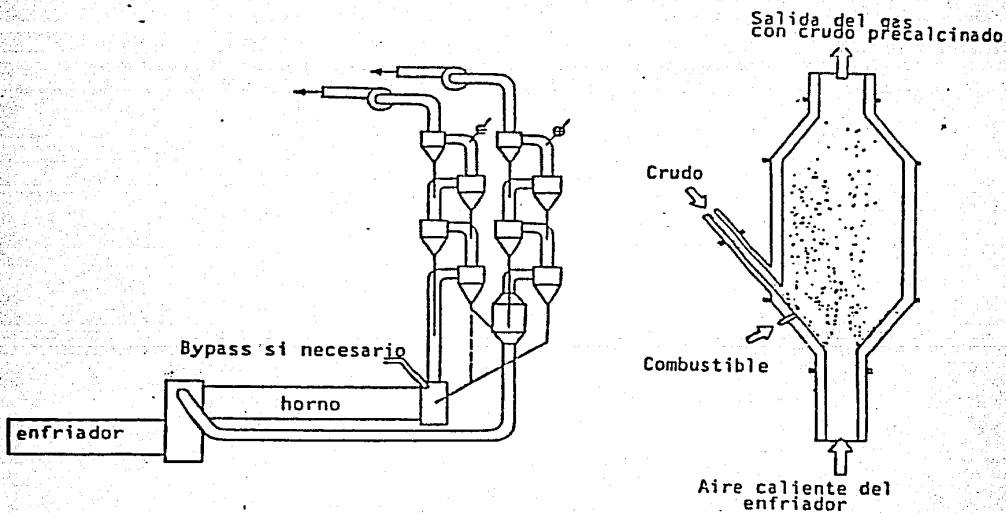


FIGURA 3.3 SUSPENSION DEL CRUDO PRECALCINADO

del quemador revisten una importancia primordial.

La introducción del combustible en la etapa de precalcincación trae necesariamente consigo un incremento del nivel de la temperatura.- Mientras que en los hornos precalentadores convencionales en la etapa inferior los gases de escape circulan con temperatura entre 790 y 820° C, en los hornos precalcincadores esta temperatura aumenta en unas decenas de grados, alcanzando entre 840 y 870° C. Por tal razón, la temperatura de salida del precalentador es también algo superior, lo que implica un incremento de las pérdidas de calor.

El rendimiento de los sistemas precalcincadores puede en primer término juzgarse en función de dos valores característicos:

- La temperatura del gas después de su paso por la etapa de calcincación debería ser lo más baja posible a fin de reducir al mínimo las pérdidas de calor del gas de escape.
- La integridad de la combustión, puesto que ésta influye directamente sobre el consumo total de calor del sistema. A este respecto hay que subrayar muy especialmente que la integridad de la combustión se ve fuertemente influenciada por el factor de exceso de aire.

En lo que concierne la aplicación de los diversos tipos de combustibles, cabe mencionar que para los sistemas de hornos de precalcincación se utilizan satisfactoriamente todos los combustibles sean sólidos, líquidos o gaseosos. Sin embargo, la experiencia muestra que existen pronunciadas diferencias entre los distintos tipos de combustibles.

Los sistemas de precalcincación tienden inherentemente a aumentar en cierto grado el consumo de calor, a no ser que se adopten las contramedidas pertinentes:

Los hornos precalentadores existentes con instalaciones de precal-

cinación tienden inherentemente a aumentar en cierto grado el consumo de calor, a no ser que se adopten las contramedidas pertinentes:

- Los hornos precalentadores existentes con instalaciones de precalcínación normalmente incrementan el consumo de calor promedio - digamos para un año -. Sin embargo éste puede ser igual o inferior por efecto de un rendimiento más regular del horno.
- En las instalaciones nuevas, el consumo de calor es comparable al de los hornos precalentadores convencionales, ya que siendo el horno (parte rotatoria) de un tamaño más reducido, se logran economías gracias a las menores pérdidas específicas de calor en las paredes del horno.

En caso de que la temperatura algo más elevada del gas de escape no puede ser aprovechada - por ejemplo, para el secado de crudo - entonces puede valer la pena instalar una etapa adicional de precalentamiento con el objeto de mejorar el consumo de calor.

En la Tabla (3.1) donde se muestran las reacciones que ocurren en la formación del clinker, la temperatura a la cual se llevan a cabo y el ahorro que se obtiene cuando se manejan hornos con precalcínador.

### 3.6

#### RESUMEN

Después de presentar los diferentes tipos de hornos rotatorios y precalcínadores; se muestra una Tabla General a manera de resumen.

En la Tabla (3.2) se incluyen: el consumo de calor, la carga específica, el tipo de alimentación del horno, las temperaturas de los gases a la salida, la velocidad del horno, etc. Todos los datos anteriores para diversos sistemas de hornos.

	REACCIONES QUE OCURREN A:	REACCIONES QUE OCURREN A:	REACCIONES QUE OCURREN A:
TEMPERATURA A LA QUE OCURREN	50 ----- MENOS DE 550° C	550 ----- -1000° C	1000 ----- 1450 °C
	<p>* EVAPORACION DEL AGUA LIBRE (a 100° C)</p> <p>* SE EXPELE EL AGUA DE CRISTALIZACION (100 - 300° C)</p> <p>* SE LIBERA EL AGUA QUIMICA</p>	<p>* CAOLITA X 5 Ca CO<sub>3</sub>----- 2 C<sub>2</sub>S + CA + H<sub>2</sub>O + 5 CO<sub>2</sub></p> <p>* 2 CaCO<sub>3</sub> + FeO<sub>3</sub>-- C<sub>2</sub>F + CO<sub>2</sub></p>	<p>* 2Ca CO<sub>3</sub>+ CA -- C<sub>3</sub>A+ 2CO<sub>2</sub></p> <p>* 2CaCO<sub>3</sub> + SiO<sub>2</sub>--C<sub>2</sub>S + 2CO<sub>2</sub></p> <p>* CaCO<sub>3</sub> -- CaO + CO<sub>2</sub></p> <p>* 2CaO + SiO<sub>2</sub> -- C<sub>2</sub>S</p> <p>* CaO + C<sub>2</sub>S -- C<sub>3</sub>S</p> <p>* CA + CaO + C<sub>2</sub>F -- C<sub>4</sub>AF</p>
HARINA CRUDA	ZONA DE SECADO	ZONA DE CALCINACION	ZONA DE SINTERIZACION
POR EL METODO CONVENCIONAL	INTERCAMBIADOR O PRECALENTADOR	HORNO ROTATORIO	
METODO CON PRECALCINADOR	INTERCAMBIADOR O PRECALENTADOR	CAHARA DE CALCINACION INSTANTANEA (PRECALCINADOR)	HORNO ROTATORIO

TABLA 3.1 REACCIONES, TEMPERATURAS Y AHORROS EN LA FORMACION DE CLINKER

TABLA 3.2

DATOS ESPECIFICOS DE HORNOS

		Horno con precalentador de cilindros de cilindros	Horno con precalentador de 4 etapas y precalentador	Horno largo de proceso seco con instalaciones internas	Horno largo de proceso seco sin instalaciones internas	Horno largo alimentado con nodulos	Horno Lepol	Horno de proceso húmedo con instalaciones internas
Carga específica	t/m <sup>3</sup> d t/m <sup>2</sup> d	1.5 - 2.2 100 - 200	2.0 - 4.0 200 - 400	0.6 - 0.7 90 - 110	0.5 - 0.6 90	0.9 140 - 160	1.6 - 2.3 100 - 160	0.5 - 0.7 80 - 130
Consumo de calor	kJ/kg cfl	3150 - 3350 1)	3150 - 3350'	3950 - 4400 4)	4600 - 5000 4)	3500 - 3900	3150 - 3350 4)	5250 - 6300 4)
Equip. cambiador de calor			Precalentador de suspensión	Precalentador de suspensión	Cadernas Cruzes	Cruces	Parilla Lepol	Cadernas Cruzes
Alimentación del horno			Harina cruda Seca	Harina cruda Seca	Harina cruda Seca	Harinas crudas Seca/Nodulos	Nodulos	Pasta cruda
Contenido de H <sub>2</sub> O	% peso	<1.0		<1.0	0.5 - 12	11 - 14	11 - 14	32 - 42 5)
Vel. esp. gas salida	km <sup>3</sup> /kg cfl	1.5 - 1.7	1.5 - 1.7	1.8 - 2.0	2.0 - 2.5	1.6 - 1.8	1.8 - 2.2	3.0 - 4.5
Temp. gas salida	°C	320 - 350	340 - 380	450 - 550	500 - 700	200 - 250	90 - 120	120 - 220
Pérdida gas sat.	kJ/kg cfl	670	730	1340	1670	500	270	710
Punto de rocío	°C	30 - 38	30 - 38	25 - 50	25 - 50	35 - 45	35 - 45	65 - 78
Contenido de polvo	g/m <sup>3</sup>	30 - 65	30 - 65	30 - 60	10 - 20	15 - 20	2 - 5	20 - 60
Pérdida de presión através todo el sistema	W/m <sup>2</sup>	4000 - 6000	5000 - 6000	500	300 - 400	900 - 1200	2600	500 - 1000
Velocidad del horno	rev./min.	1.5 - 2.5 2)	2.0 - 4.0 3)	1.0 - 1.5	1.0 - 1.5	1.8 - 2.3	1.0 - 2.0	1.0 - 2.0
Inclinación	°	3 - 3.5	3 - 4.5	2.5 - 3.5	3.0 - 3.5	3 - 4	3.0 - 3.5	2.5 - 4.0
Aire primario	km <sup>3</sup> /kg cfl	0.1	0.1	0.15	0.2	0.1	0.1	0.15
Aire secundario	km <sup>3</sup> /kg cfl	0.85	0.85	1.5	1.9	0.9	0.9	1.6
Consumo de combustible - carbon (27'200 kJ/kg) - aceite (41'000 kJ/kg) - gas (35'600 kJ/kg)	kg/t cfl kg/t cfl Nm <sup>3</sup> /t cfl	117 76 90	117 76 90	145 - 160 95 - 107 112 - 125	170 - 185 112 - 125 150 - 140	127 - 143 85 - 95 98 - 109	115 - 130 75 - 87 85 - 100	190 - 230 127 - 153 147 - 177

1) Primera cifra: consumo conf. balance termico  
Segunda cifra: consumo promedio anual.

2) Hasta una velocidad circunferencial de 40m/min.

3) Hasta una velocidad circunferencial de 50m/min.

4) Consumo calculado balance termico.

5) 73...331 si se utilizan fluidificadores de pasta.

TABLA 3.2

DATOS ESPECIFICOS DE HORNOS

		Horno con precalentador de ciclones de 4 etapas	Horno con precalentador de 4 etapas y precalentador	Horno largo de proceso seco con instalaciones internas	Horno largo de proceso seco sin instalaciones internas	Horno largo alimentado con nodulos	Horno Lepol	Horno de preceste huerdo con instalaciones internas
Carga especifica	l/m <sup>3</sup> d l/m <sup>2</sup> d	1.5 - 2.2 100 - 200	2.0 - 4.0 200 - 400	0.6 - 0.7 90 - 110	0.5 - 0.6 90	0.9 140 - 160	1.6 - 2.3 100 - 160	0.5 - 0.7 80 - 130
Consumo de calor	kj/kg cil	3150 - 3350 1)	3150 - 3350*	3950 - 4400 4)	4600 - 5000 4)	3500 - 3900	3150 - 3550 4)	5250 - 6300 4)
Empuje cambiador de calor			Precalentador de suspension	Precalentador de suspension	Cadenas Cruzes	Cruces	Farilla Lepol	Cadenas Cruzes
Alimentacion del horno			Harina cruda Secca	Harina cruda Secca	Harina cruda Secca	Harina cruda Secca/Modulos	Modulos	Pasta cruda
Contenido de H <sub>2</sub> O	l peso	<1.0		<1.0	0.5 - 12	11 - 14	11 - 14	32 - 42 5)
Vol. esp. gas salida	km <sup>3</sup> /kg cil	1.5 - 1.7	1.5 - 1.7	1.8 - 2.0	2.0 - 2.5	1.6 - 1.8	1.8 - 2.2	1.0 - 4.5
Temp. gas salida	°C	320 - 350	340 - 380	450 - 550	500 - 700	200 - 250	90 - 120	120 - 220
Pérdida gas sal.	kJ/kg cil	670	730	1340	1670	500	270	710
Punto de rocío	°C	30 - 38	30 - 38	25 - 50	25 - 50	35 - 45	35 - 45	65 - 78
Contenido de polvo	g/m <sup>3</sup>	30 - 65	30 - 65	30 - 60	10 - 20	15 - 20	2 - 5	20 - 60
Pérdida de presión através todo el sistema	N/m <sup>2</sup>	4000 - 6000	5000 - 6000	300	300 - 400	900 - 1200	2600	500 - 1000
Velocidad del horno	rev./min.	1.5 - 2.5 2)	2.0 - 4.0 3)	1.0 - 1.5	1.0 - 1.5	1.8 - 2.3	1.0 - 2.0	1.0 - 2.0
Inclinacion	°	3 - 3.5	3 - 4.5	2.5 - 3.5	3.0 - 3.5	3 - 4	3.0 - 3.5	2.5 - 4.0
Air primary	km <sup>3</sup> /kg cil	0.1	0.1	0.15	0.2	0.1	0.1	0.15
Air secundario	km <sup>3</sup> /kg cil	0.85	0.85	1.5	1.9	0.9	0.9	1.6
Consumo de combustible - carbon (27°200 kJ/kg) - acefloc. (11°000 kJ/kg) - gas (35°600 kJ/kg)	kg/t cil kg/t cil kg/t cil	117 76 90	117 76 90	145 - 160 95 - 107 112 - 125	170 - 185 112 - 125 130 - 140	127 - 143 85 - 95 98 - 109	115 - 130 75 - 87 85 - 100	190 - 230 127 - 153 147 - 177

1) Primera cifra: consumo conf. balance termico  
Segunda cifra: consumo promedio anual.  
2) Hasta una velocidad circunferencial de 40r/min.  
3) Hasta una velocidad circunferencial de 50r/min.

4) Consumo calculado balance termico.  
5) 23...331 si se utilizan fluidificadores de pasta.

## C A P I T U L O 4

4. PRESELECCION DE UN HORNO ROTATORIO

## 4.1 GENERALIDADES

El contenido de este capítulo es el dimensionamiento de hornos y el proceso a seguir para escoger un horno rotatorio específico.

Se incluyó el dimensionamiento de hornos debido a que en él son definidas las variables a considerar en la selección de un horno.

## 4.2 DIMENSIONAMIENTO DE HORNOS

No han sido derivadas fórmulas teóricas para calcular el tamaño de un horno sobre una base analítica. Es por ello que los hornos para cemento son dimensionados en base:

Cifras empíricas y con instalaciones ya existentes

Las variables básicas a definir para el dimensionamiento de hornos son las siguiente:

- a) Clinker producido por  $m^3$  de volumen del horno ( $t/d.m^3$ ).
- b) Clinker producido por sección transversal ( $m^2$ ) en la zona de clinkerización.
- c) La carga térmica por sección transversal en la zona de clinkerización. ( $G \text{ CAL/h. } m^2$ ).

La Tabla (3.2) muestra volúmenes usuales, de las dos primeras variables, para diversos tipos de hornos.

La tercera variable, carga térmica por sección transversal en la zona de clinkerización es el factor decisivo en los modernos sistemas de horno, debido a la importancia actual del ahorro en energéticos.

Los valores límite de las tres variables no son conocidas y cada



proveedor tiene sus propias reglas para el dimensionamiento de hornos.

Así por ejemplo, F.L. Smith (proveedor de hornos), tiene dimensiones estándar de hornos de acuerdo a la capacidad de producción requerida, estas se muestran en la Tabla y gráfica 4.1 La variación de la carga térmica con respecto a la producción de clinker se observa en la gráfica 4.2.

#### 4.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SELECCION

La selección de un proceso de clinkerización puede verse influenciada por los siguientes factores:

- Características del material crudo.
- Procesos utilizados en la actualidad.
- Capacidad, instalación de la Planta y costos operativos.
- Requisitos que debe cumplir la calidad del clinker.
- Aspectos relativos a la protección ecológica.
- Estandar técnico del país, etc.

Y no sólo hay que tomar en cuenta la situación actual de todos estos factores, sino la respuesta que se obtendrá con el sistema de clinkerización ante posibles cambios futuros en cada uno de los factores mencionados.

A continuación se detallará cada uno de los factores más ampliamente y se mencionarán en algunos casos ventajas y desventajas.

Material crudo. Dentro del material crudo hay que considerar:

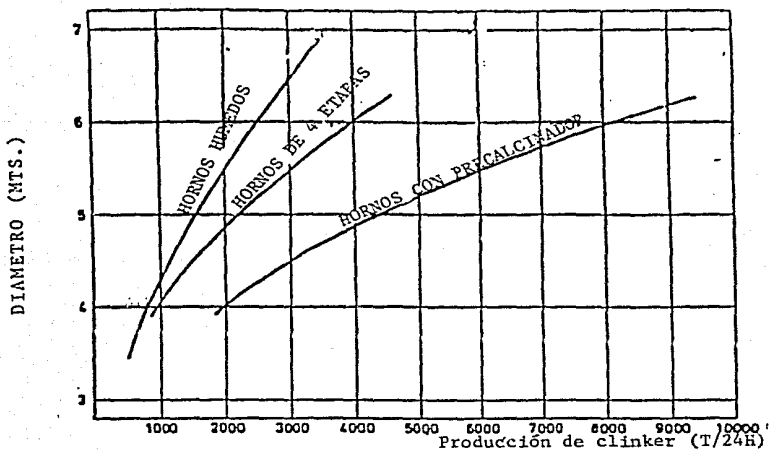
- Contenido de humedad de las materias primas a procesar.
- Composición de la materia prima.
- Molturabilidad (facilidad del material para ser molido).
- Propiedades de filtración de la pasta.

TABLA 4.1

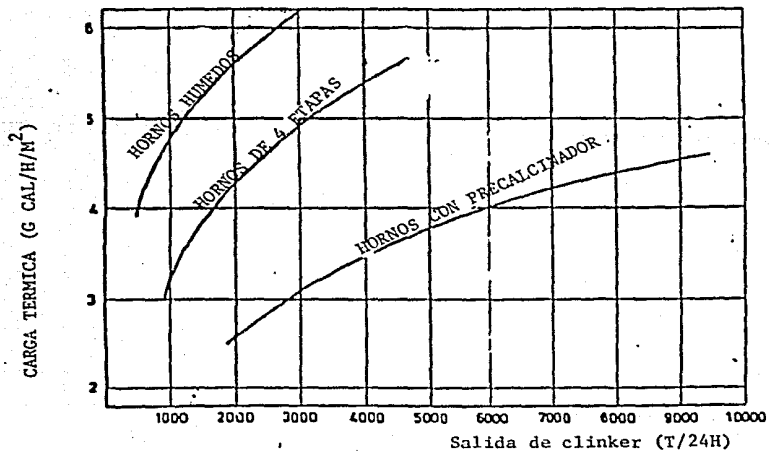
DIMENSIONES Y CAPACIDADES USUALES DE HORNOS CON  
PRECALCINADOR

DIMENSIONES			CAPACIDADES ( 24 HR)	
DIAMETRO		LARGO (M)		
3.95	X	56	1587	----- 2000
4.15	X	58	2000	----- 2200
4.15	X	60	2360	
4.35	X	66	2500	
4.55	X	68	3200	
4.75		75	4000	

GRAFICA 4.1 TAMAÑO DEL HORNO Y PRODUCCION DE CLINKER



GRAFICA 4.2 CARGA TERMICA EN LA ZONA DE QUEMADO Y PRODUCCION DE CLINKER



#### 4.4 ARBOL DE DECISION

Aquí se presenta un flujo de decisión para la selección de un horno rotatorio. En este esquema se toman en cuenta las características de la materia prima, capacidad nominal requerida y características deseadas en el cemento, como es, el bajo contenido de álcalis.

#### 4.5 PROVEEDORES DE HORNO PARA CEMENTO

La información a presentar en esta sección se resumió en forma de Tabla. En ella se incluye el proveedor, la licencia y los diferentes tipos de hornos que fabrica la compañía. Cabe hacer la aclaración que este tipo de compañía no fabrican únicamente hornos, sino todo el equipo periférico de un horno, como son: Molinos de Mat. Primas, de cemento, trituradores, etc.

La nomenclatura a utilizar será la siguiente:

H	=	Proceso de Vía húmeda
SC	=	Proceso de vía seca, precalentadores de ciclón
SL	=	Proceso de vía seca, horno largo.
SV	=	Proceso de vía seca, precalentador vertical
SLP	=	Proceso de vía seca, precalentador de ciclón y precalcinamiento.
PR	=	Horno con precalentador de parrilla.

Ver Tabla 4.2

#### 4.6 PRESELECCION DEL HORNO

De acuerdo con el estudio de mercado realizado se estimó la conveniencia de instalar una fábrica de cemento en una zona próxima a la ciudad de México, que contara con yacimientos en la calidad y cantidad, vías de comunicación, servicios y mano de obra necesarios. De las posibles alternativas se decidió por localizar la planta próxima a Huichapan, Hidalgo, ubicada a 210 Km al N.E. de la ciudad de México y a 76 Km de la ciudad de Querétaro. De los yacimientos próximos a la Planta se extrae la materia prima con un contenido menor del 1% de humedad en promedio.

Se desea una producción anual de 1'100,000 ton/año, equivalente a

3,200 ton/día, además tener un buen control sobre el contenido de álcalis del producto.

De acuerdo con estas necesidades, utilizando el diagrama de decisión para la preselección del horno de clínker, indicado en la Fig. 4.2, tenemos que la unidad requerida debe contar con un precalentador de suspensión de 4/5 etapas, doble flujo, provisto con calcinador, ducto de bypass y colector de álcalis.

Además, se desea que el rendimiento térmico unitario no exceda de - 850 Kcal/Kg clk., temperatura de los gases de salida máxima 350° C.

#### 4.7 DIMENSIONES DEL HORNO.

Como se indicó anteriormente, las dimensiones de un horno de clínker se determinan utilizando cifras empíricas y por comparación con instalaciones existentes.

Para determinar las dimensiones del horno haremos uso de tablas y gráficas producto de las experiencias de los fabricantes. De la Tabla 4.1 que nos muestra las dimensiones comerciales de hornos con Precalentador y precalcinador de un reconocido fabricante de equipo, el cual recomienda para un producción de 3200 t/d, un horno de 4.55 m. d. \* 68 m long.

Revisemos estos datos; de la gráfica 4.1 que determina el diámetro en función de la producción diaria y del tipo de horno, entrando con el valor de 3,200 t/d, encontramos que se requiere un diámetro de 4.5 m. para un horno con precalcinador.

De la Tabla 3.2 datos específicos de hornos obtenemos las características principales:

Carga específica	2 - 4 t/M <sup>3</sup> d 200- 400 t/M <sup>2</sup> d
Consumo Calor	750 - 800 Kcal/Kg Clk
Vol. esp. gases salida	1.5 - 1.7 Nm <sup>3</sup> /Kg. clk
Temp. gases a la salida	340 - 380° C
Velocidad del horno	2- 4 Rev./min.
Inclinación	3- 4.5%
Aire primario	.1 N m <sup>3</sup> /Kg.clk
Aire secundario	.8 N m <sup>3</sup> /Kg.clk

Verifiquemos las dimensiones del horno, en función de la carga específica.

$$\text{Arca Sec. Transversal} = 0.785 * d^2$$

$$\frac{3200}{0.785 * d^2} = 200$$

$$d1 = \left( \frac{3200}{200 * .785} \right)^{1/2}$$

$$d1 = \underline{4.51 \text{ m}}$$

$$\frac{3200}{.785 * d^2} = 400$$

$$d2 = \left( \frac{3200}{400 * .785} \right)^{1/2}$$

$$d2 = \underline{3.20 \text{ m}}$$

Verifiquemos la longitud del horno del volumen específico de clinkerización

Tenemos

$$\frac{3200}{V_1} = 2$$

$$V_1 = 1600 \text{ M}^3$$

$$V = A * L \quad , \quad L = \frac{V}{A}$$

$$L_1 = \frac{1600}{15.97}$$

$$L_1 = 100 \text{ m}$$

$$\frac{3200}{V_2} = 4$$

$$V_2 = 800 \text{ M}^3$$

$$L_2 = \frac{800}{15.97}$$

$$L_2 = 50 \text{ m}$$

O sea, que un horno de 3200 t/d, de 4.55 m d \* 68 m Long. es aceptable.

Verifiquemos la carga térmica específica de la sección libre del horno en la zona de clinkerización, es decir, la cantidad de calor que fluye por 1 M<sup>2</sup> de sección libre en la zona de clinkerización, (60% consumo comb. en horno, 40% en precalentador)

$$Q_1 = \frac{3200000 * 750 * .6}{24 * 15.97}$$

$$Q_1 = 3.75 \times 10^6 \text{ Kcal/M}^2 \text{ h}$$

$$Q_2 = \frac{3200000 * 800 * .6}{24 * 15.97}$$

$$Q_2 = 4.0 \times 10^6 \text{ Kcal/M}^2 \text{ h}$$

La carga térmica específica por sección transversal es el factor limitativo para los hornos modernos, ya que para una relación L/D típica para cada tipo de horno, ésta es proporcional a la carga térmica sobre la superficie del revestimiento interno, factor que influye en la vida del refractario que para hornos con precalentador de 4 etapas no debe exceder de  $5 \times 10^6$  Kcal/M<sup>2</sup> h. Revisando Q<sub>1</sub> y Q<sub>2</sub> vemos que es inferior al valor límite.

Revisando la velocidad de los gases que no debe ser mayor de 8.6 m/seg. ya que velocidades mayores reducen la transmisión de calor y aumenta el arrastre de polvos, la concentración crece con la tercer potencia de la velocidad de los gases.

Area neta interior es igual al área total menos el área de la sección de refractario y la del producto que se considera aprox. que ocupa - 13%

Area Total	15.97 M <sup>2</sup>
Area Sec. Refr.	3.10 M <sup>2</sup>
Subtotal	12.87 M <sup>2</sup>
- 13% Producto	1.67 M <sup>2</sup>
Total	11.20 M <sup>2</sup>

$$VG_1 = \frac{3200}{24} * 1.5$$

$$VG_1 = 200,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$VG_1 = 55.5 \text{ N m}^3/\text{seg.}$$

$$v_1 = \frac{VG_1}{A_1}$$

$$v_1 = \frac{55.5}{11.20}$$

$$v_1 = 4.95 \text{ m/seg.}$$

$$VG_2 = \frac{3200}{24} * 1.7$$

$$VG_2 = 226,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$VG_2 = 62.7 \text{ N m}^3/\text{seg.}$$

$$v_2 = \frac{VG_2}{A_2}$$

$$v_2 = \frac{62.7}{11.20}$$

$$v_2 = 5.60 \text{ m/seg.}$$

Estos valores son inferiores al límite antes indicado.

De lo anterior podemos tabular las características del horno seleccionado.

Producción/ día (P) = 3200 t/p.  
 Diámetro (D) = 4.55 m.  
 Longitud (L) = 68 m.  
 Relación L/D = 14.95  
 Carga térmica (Q) =  $4 \times 10^6$  KCal/M<sup>2</sup> h  
 Vel. de Gases (v) = 5.6 m/seg.  
 Consumo térmico (q) = 750-800 KCal/Kg Clk

#### 4.8 DISEÑO MECANICO.

El criterio de diseño de un horno rotatorio para fabricar clinker - debe cubrir dos aspectos fundamentales: diseñar al mínimo costo y - debe ser rígido y garantizar un desgaste mínimo en el revestimiento. Esta condición puede cumplirse si la deformación de la carcaza se reduce a un límite tolerable. Investigaciones al respecto, han demostrado que por lo general se permite una ovalidad relativa máxima - ( W/dr ) de 0.3%. Suponiendo que la deformación es elíptica, la ovalidad se define como la diferencia doble de ambos semi ejes a y b. - Esta ovalidad puede dividirse en dos magnitudes.

- a) Ovalidad de la llanta con una tolerancia  $WLL/dr. < 0.2\%$
- b) Ovalidad en la carcaza del horno debido a deformaciones por su propio peso en anillos de rodadura sueltos y también por altas temperaturas  $Wc/dr < 0.13\%$

Para mantener la ovalidad dentro de los límites debe cumplirse:

- a) Los anillos de rodadura deben tener la suficiente rigidez.
- b) La holgura entre las zapatas del anillo y el anillo de rodadura debe ser mínima. A continuación se muestran algunos valores prácticos

Juego por Temperatura	Llanta Núm			
	1	2	3	4
Normal	3-4	3-4	4-6	5-6
Máximo		10-15		
(en m.m.)				



Espesor del Cuerpo del Horno.

El espesor de la carcasa debe ser lo suficientemente grueso para evitar la deformación provocada por su propio peso, peso del refractario y la del producto que circula por su interior y la deformación térmica.

El espesor de la placa en cada sección se determina

$$e = \frac{W_p}{II * r^2}, \quad W_p = \frac{M_x}{S_x}$$

$$S_x = 20 \text{ N/mm}^2$$

e = espesor de placa en m m

Mx = momento flexionante

Sx = Esfuerzo flexionante admisible

Wp = Factor ovalidad en la carcasa 0.3% del diámetro

r = radio de la carcasa

La carcasa cilíndrica se suministra en varias secciones (virolas) y espesores, siendo la de mayor espesor la que contiene a la corona motriz, a continuación se dan sus características:

Virola Núm.	Espesor m m	Longitud m m	D.exter. m m	Perímet. m	Superf. m <sup>2</sup>	Peso Kg	Sold. Unión Kg
1	25	4300	4600/5180	14.45	62.14	14000	67.7
2	35	6900	4780	15.10	103.56	41000	67.7
3	25	9940	4620	14.50	144.10	30000	42.50
4	25	10110	4600	14.44	146.0	28000	42.50
5	28	6900	4780	15.10	103.56	39000	52.53
6	28	10575	4606	14.46	152.67	32000	50.78
7	28	10575	4606	14.46	152.67	30000	50.78
8	28	8400	4780	15.00	126.07	45000	52.53
<b>Total</b>		67.69 m			991 m <sup>2</sup>	261 t	427 Kg

FIGURA 4.2

ARBOL DE DECISION PARA UN HORNO DE CEMENTO

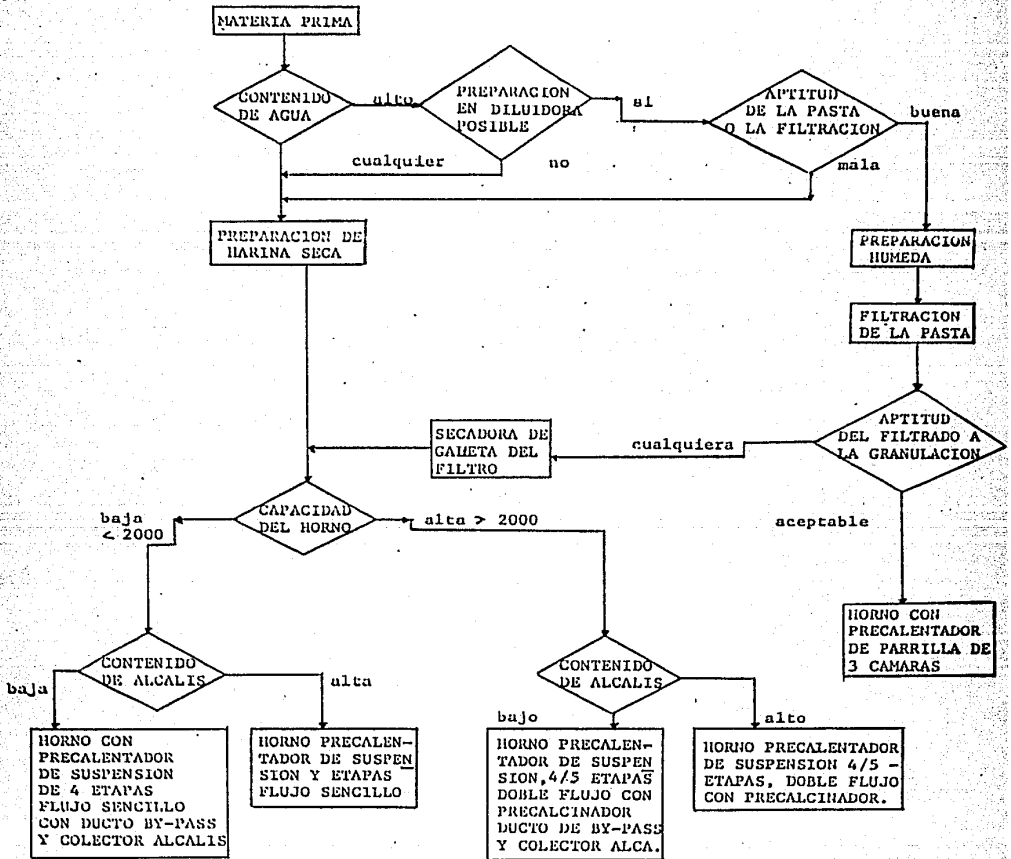


TABLA 4.2

LISTA DE PROVEEDORES DE HORNOS

PROVEEDORES		LICENCIA DE (HORNO TIPO)	TIPOS FABRICADOS
<u>América:</u>			
Allis Chalmers, Milwaukee, Wisc.	E.U.A	Polysius (G)	H. SC. PR. SL
Fuller Company, Catasauqua, PA.	E.U.A		H. SC. SL.
<u>Asia:</u>			
Hitachi Shipbuilding & Eng. Co. Ltd., Tokyo.	Japón	Fuller (DC)	SC.
Ishikawajima-Harima H.I. Ltd. (IHI), Tokyo.	Japón	Humboldt (DC)	SC. SLP.
Kawasaki Heavy Industries Ltd. Tokyo.	Japón	Wedag (DC)	SL. SCP.
Kobe Steel Ltd. Kobe	Japón	Miag (DC)	SC. SCP.
Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Tokyo.	Japón	Polysius (DC)	SC. SCP.
Mitsui Shipbuilding & Engineering Co. Ltd.	Japón	Creusot-Loire(DC)	SC.
Nihon Kohan Kabushiki Kaisha	Japón	Fuller (DC)	SC.
Sumitomo Shipbuilding & Machinery Co. Ltd.	Japón	Prerov (DS)	SV.
<u>Europa:</u>			
Bühler-Miag Gmbh, Braunschweig	BRD		SC. SCP.
Creusot-Loire Entreprises, Paris	Francia		SC. H.
Fives-Cail Babcock, Paris	Francia	Humboldt (DC)	SC. H.
F.L. Smidth & Co. AS, Copenhagen	Dinamarca		SC. SCP.
KHD Industrieanlagen AG			
Humboldt-Wedag Köln/Bochum	BRD		SC. SCP.
Polysius AG. Neubreckum	BRD		SC. SV. SCP. PR.
Prerov Machinery, Prerov	URSS		SV
VEB Zementanlagenbau, Dessau	DDR		SV

ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO PRINCIPAL  
DE PLANTA HUICHAPAN.

1. Triturador de Caliza

Tipo	de martillos
Capacidad	1000 tmph
Medida material de alimentación	2000 mm.
Producto	25 mm.
Motor	2240 KW

2. Apilador

Tipo	parcial cerrado
Capacidad	1200 tmph
Velocidad de las bandas de caliza	90.83 M/min

3. Reclamador

Tipo	extracción subterráneo
Capacidad	300 tmph - 700 tmph
Velocidad de las bandas extracción	30.48 M/min.

4. Molino de Crudo

Tipo	Tirax Unidan
Capacidad	250 tmph
Dimensiones	5 mts. $\phi$ x 11.75 largo
Motor	4480 KW

5. Silo de Homogenización

Tipo	CF
Capacidad	23,870 ton.
Dimensiones	22.4 Mts. D.I. X 59.6 Mts. altura

6. Precalentador

Tipo	4 etapas dobles c/precaldinador
Capacidad	3200 tpd
Dimensiones de la torre	71.6 M altura X 27 M ancho X 19 M lateral
Diámetro de los ciclones	
1a etapa	5250 mm $\phi$
2a etapa	7600 mm $\phi$
3a etapa	7600 mm $\phi$
4a etapa	7600 mm $\phi$
Precaldinador	8000 mm $\phi$

7. Horno Rotatorio

Capacidad	3200 tpd
Dimensiones	4.55 Mts. $\phi$ X 68 Mts. largo
Velocidad	3 R.P.M.
Inclinación	4%
Motor	450 KW

8. Enfriador de Clinker

Tipo	FOLAX horizontal 4 parrillas
Capacidad	3200 tpd
Area de las parrillas	116 M2 x 4 com- partimentos
Motor	45 KW x 4 parril- llas

9. Colector de Polvo

Tipo	Casa de bolsas
Capacidad	15,887 M3/min a 250° C

10. Molino de Cemento  
Tipo Combidan  
Capacidad 147 tmph  
Dimensión 4.6 M Ø x 14 M.  
largo  
Revoluciones 15.37 R.P.M.  
Motor 4480 KW

---

11. Separador de Aire  
Tipo Mecánico de aire  
Capacidad 80 tmph  
Diámetro 6,400 m.m.  
Fineza producto 3200 Cm2 Blaine  
Motor 340 KW

---

12. Silo de Cemento  
Capacidad 8000 ton x  
2 unidades  
Dimensiones 15.2 M. D.I. X  
36.3 M altura

---

13. Ensacadora  
Tipo Rotatoria RAB  
Capacidad 100 tph (2000  
sacos/hora)  
x 2 unidades  
Núm. boquillas 8

---

C A P I T U L O 5

## 5. FORMAS DE COMPROBAR EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE UN HORNO ROTATORIO

### 5.1 GENERALIDADES

En este capítulo se presentan dos formas básicas para conocer el desempeño del horno rotatorio. Esta son:

- Balance de materia
- Balance térmico

Con la primera de ellas se puede conocer la calidad y aprovechamiento de la harina cruda alimentada y con la segunda las necesidades de energía que nuestro proceso está utilizando.

Presentamos a continuación la forma de poder realizar tanto un Balance de Materia como un Balance Térmico. En ambas consideraremos el caso de un sistema de horno rotatorio con precalentador de ciclones, alimentación de harina cruda, enfriado del clinker por aire, mediante un enfriador Folax, colector de polvos y regreso de parte de los polvos al sistema.

### 5.2 BALANCE DE MATERIA

Previo a un Balance Térmico es necesario realizar un Balance de Materia. Esto es, considerar en el sistema a analizar todas las entradas y salidas de materia.

Para realizar un Balance de Materia es necesario tomar una base de cálculo, en este caso será de 1 kg. de clinker producido. En la Tabla (5.1) se muestran las entradas y salidas de materia a considerar.

A continuación se detallarán los porcentajes utilizados o la forma de obtener los valores de las entradas o salidas mencionadas en la Tabla 5.1.

TABLA 5.1            ENTRADAS Y SALIDAS DE MATERIA DEL SISTEMA DE HORNO

KG/KG CLINKER	ENTRADAS	SALIDAS
Clinker producido		*
Harina cruda necesaria para producir 1 kg. de clinker	*	
CO <sub>2</sub> Desprendido por la - harina al momento de la cal- cinación		*
Polvos que van al colector		*
Polvos regresados al sistema del horno	*	
Polvos perdidos	*	*
Harina cruda del polvo que - se perdió	*	
CO <sub>2</sub> del polvo perdido		*
Contenido de humedad de la - harina cruda	*	*
Alcalis y otros productos		*



Antes de iniciar el Balance de Materia es necesario tener la siguiente información:

- Porcentaje de pérdidas por ignición de la harina cruda (% P.I.H.C.)
- Porcentaje de pérdidas por ignición en el colector de polvos (% P.I.C.).
- Porcentaje de humedad (%H) de la harina cruda.
- % Pérdida de polvos (% P.P.)
- Temperatura de entrada de la harina cruda al sistema a considerar (te).
- Porcentaje de titulación de la harina cruda (%T).

Clinker producido.

Equivale a la base de cálculo de 1 kg. de clinker.

Harina cruda necesaria para producir 1 kg. de clinker

Todo lo que se suministra de materia prima (harina cruda) no se convierte en clinker. Existe un porcentaje llamado de pérdidas por ignición el cual contabiliza las mermas en la harina cruda.

Dicho porcentaje considera las reacciones de calcinación y por tanto el desprendimiento de  $\text{CO}_2$ . Utilizando la siguiente ecuación se obtiene el total de harina cruda necesaria para producir 1 kg. de clinker.

$$\text{Fh. c.} = 1 / ( (1 - \% \text{ P.I.H.C.}) * (1 - \% \text{ H.}) * (1 - \% \text{ P.P.}) ) \quad (5.1)$$

$\text{CO}_2$  Producido por la harina cruda (F ( $\text{CO}_2$ ) h.c.)

$$\text{F} (\text{CO}_2) \text{ h.c.} = \frac{\% \text{ T} * 0.44}{(1 - \% \text{ P.I.H.C.}) * 100} \quad (5.2)$$

Polvos que van al colector (F p.c.)

En este caso, pocas veces se realiza en la práctica la medición. Lo que se utiliza es un porcentaje aproximado al 6% con respecto a el total de harina cruda alimentada.

Polvos regresados al sistema de horno (F p.r.h)

También aquí se utiliza un porcentaje de 5.99% del total de harina cruda suministrada.

Polvo perdido (F p.p.)

Nuevamente se maneja un porcentaje de aproximadamente el 1% con respecto a el total de harina cruda alimentada.

Harina cruda del polvo perdido (F h.c.p.p)

$$F h.c.p.p. = \frac{1 - \% P.I.C.}{1 - \% P.I.H.C.} * F p.p. \quad (5.3)$$

CO<sub>2</sub> del polvo perdido (F(CO<sub>2</sub>) p.p.)

$$F(CO_2) p.p = F h.c. p.p. - F p.p. \quad (5.4)$$

Contenido de humedad de la harina cruda (F a.h.c.)

$$F a.h.c = F h.c. * \% H \quad (5.5)$$

Alcalis y otros productos (Fe)

$$Fe = F h.c. - F cl - F(CO_2) h.c \quad (5.6)$$

## 5.3 ESTIMACION DEL CONSUMO CALORIFICO EN UN SISTEMA DE HORNO

## 5.3.1 Generalidades

En esta sección se muestran las ecuaciones a seguir para la obtención de un Balance Térmico en un sistema de horno rotatorio.

Un Balance Térmico consiste en calcular todas las entradas y todas las salidas de calor de un sistema, con el fin de conocer los requerimientos de energía por kilogramo de clinker producido, y con ello poder determinar donde existen los mayores consumos de calor para tratar de reducirlos.

A continuación se explican más ampliamente el total de calor suministrado y consumido dentro del sistema de horno.

Normalmente en la industria, se realiza un Balance Térmico teniendo como variable a encontrar las calorías, necesarias para producir un kilogramo de clinker. Es por ello que de esta forma serán presentados en esta sección los cálculos a seguir para obtener los consumos de energía.

La Figura (5.1) que aquí se presenta, es el diagrama de bloques de clinkerización. El círculo enmarca lo que es considerado como sistema del horno y en el se notan las entradas y salidas a analizar.

Para poder llevar a cabo el Balance Térmico es necesario contar con un Balance de Materia previo así como con los datos y ecuaciones que se muestran en el apéndice (B1).

### 5.3.2. CALOR SUMINISTRADO AL SISTEMA DE HORNO

Como se mencionó en el capítulo 3, el proceso de formación de clinker, es un proceso endotérmico. Esto significa que requiere de calor para poder efectuarse-

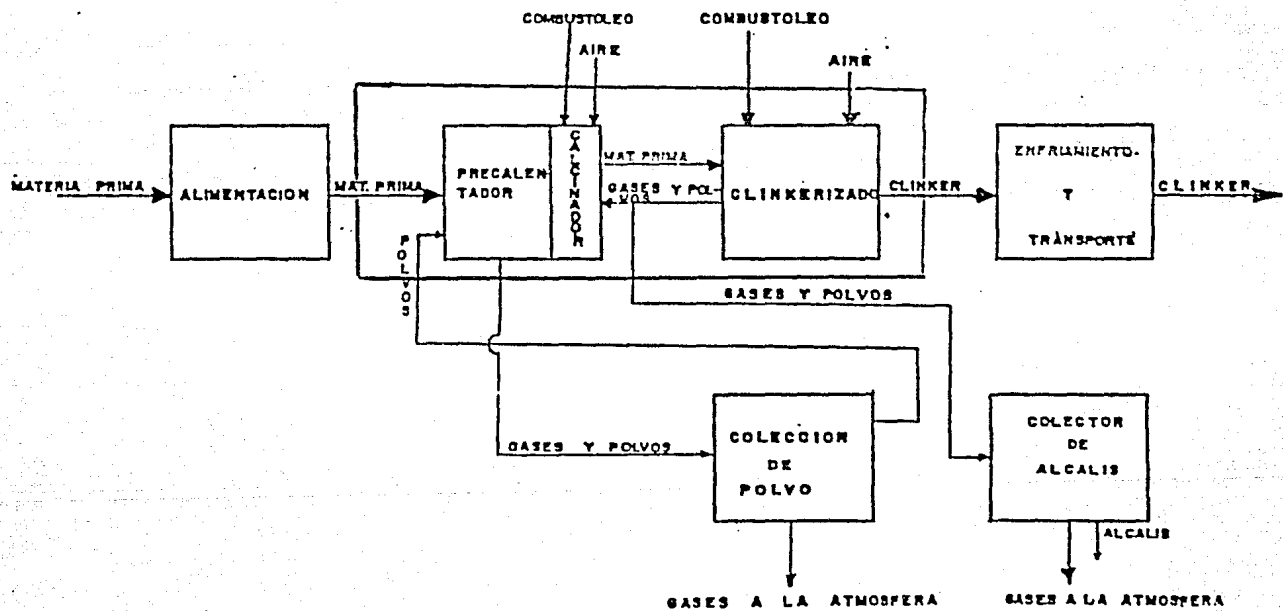


FIGURA 5.1 DIAGRAMA FUNCIONAL DE BLOQUES DE CLINKERIZACION

El calor necesario será suministrado por:

- a) La combustión del combustible.
- b) Quemado del material en la alimentación del horno - combustible.
- c) Calor proporcionado como calor sensible del combustible, la harina cruda, el aire de combustión (primario, secundario, terciario y el exceso de aire), polvo retornado y el exceso de aire a el Enfriador - Folax.

- a) Calor suministrado por la combustión del combustible.

La unión de combustible con oxígeno produce calor, y el calor generado cuando 1 kg. de combustible es completamente quemado se llama calor de combustión o poder calorífico del combustible.

Los poderes caloríficos son determinados experimentalmente por medio de calorímetros en los cuales los productos de combustión son enfriados a la temperatura inicial. El calor absorbido por el elemento enfriador es luego medido. El resultado es denominado Poder Calorífico.

Actualmente en México se utiliza el combustóleo, debido a su costo más bajo. Sin embargo algunos hornos continúan utilizando gas natural.

En el caso de utilizar combustóleo, el poder calorífico promedio es de 9,121 KCAL/KGCOMB o bien si se cuenta con un análisis químico del contenido del combustóleo se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$P.C. co = 8100\% C + 28600 (\%H - \%O_2/8) + 2500\%S - 600\% H_2O \text{ (KCAL/KGCOMB)}$$

(5.7)

donde:

C, H, O<sub>2</sub>, S, H<sub>2</sub>O porcentaje peso del respectivo elemento o compuesto. Cuando al contrario se utiliza gas natural, su poder calorífico es de aproximadamente 8400 KCAL/Nm<sup>3</sup>. Igualmente se puede obtener una estimación del poder calorífico con la siguiente ecuación:

$$P.C.g. = 3020CO + 2580H_2 + 8550CH_4 + 15370C_2H_6 + 14320C_2H_4 \text{ (KCAL/Nm}^3\text{)} \quad (5.8)$$

CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ---- Porcentaje volumétrico de los elementos y compuestos en el análisis del gas.

En este caso el factor a encontrar al resolver el Balance de Energía se denominará por (X) y tendrá unidades de KCAL/KG de clinker.

- b) La combustión del material combustible en la alimentación del horno.

El material combustible en la harina cruda consiste de materias orgánicas contenidas en él. La determinación de la cantidad de material orgánico es difícil y además su contribución con respecto al total de calor suministrado es del orden de 0.1 - 0.3%, lo cual es mínimo.

Las materias orgánicas más comúnmente encontradas en la harina cruda son la piritita y el carbono.

A continuación se muestra la forma de calcular el calor libre proporcionado por:

#### Carbono

$$Q_1 = 8100 (\% C) * R \text{ (5.9)}$$

donde:

% C ---- Porcentaje peso del carbono en la harina cruda.  
 R ---- Factor del crudo, depende de el contenido de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y otras materias volátiles. Normalmente es de 1.7 KG COMB/KG CLINKER.

Pirita

$$Q_2 = 1280 (\% \text{Pir}) * R \quad (5.10)$$

% Pir ---- Porcentaje peso de pirita en la harina cruda.

c) Calor libre proporcionado como calor sensible.

Para obtener el Balance Térmico se fija una temperatura de referencia; la cual normalmente es de 20°C. Aquel material que entre al sistema a mayor o menor temperatura que la de referencia, tendrá un calor sensible positivo o negativo respectivamente. Esto es, como calor positivo se consideran aquellas cantidades de calor cuya temperatura es superior a la temperatura de referencia de 20°C. Como calor negativo se consideran aquellas cantidades de calor cuya temperatura es inferior a la temperatura de referencia.

Las capacidades térmicas (Cp's) mencionadas en esta sección se encuentran el apéndice (B1),

Calor sensible proporcionado por el combustible

Usualmente el combustible se introduce al sistema a temperaturas mayores a 20° C, por lo tanto la forma de calcular su calor sensible es la siguiente:

$$Q_3 = \frac{X * C_p \text{ Co/te}}{\text{P.C. co}}$$

(5.11)

Calor sensible proporcionado por el aire de combustión

El aire de combustión se divide en:

- Primario.
- Secundario.
- Terciario.
- Exceso de aire a la entrada del Enfriador de Clinker.

El aire primario, es el que se suministra en los quemadores principales (quemador del horno, y en el del precalcinador), para que se pueda llevar a cabo la reacción de combustión.

El aire secundario es el que va de la cámara del Enfriador Folax al horno.

El terciario es el que se extrae mediante un ducto a la salida del horno, y se suministra a el precalcinador aprovechando su alta temperatura.

En cuanto a el exceso de aire a la entrada del Enfriador de Clinker, esta será la misma que a la salida del enfriador y se detectará el porcentaje de exceso de aire mediante un análisis Orsat (\*) de los gases.

La forma de contabilizar las entradas de calor proporcionadas por el aire de combustión, es la siguiente:

- Aire Primario.

Es necesario calcular la cantidad de aire que se suministra a los quemadores. Posteriormente se determinan los Kg. de aire necesarios para producir un kg. de clinker. Para estos cálculos ver apéndice B2.

$$Q_4 = F a.p. * C_p a.p/t_e$$

(5,12)

La temperatura de entrada de la cual se habla es la temperatura ambiente.



- Aire secundario.

Se requiere conocer los kg. de aire por kilogramo de clínker que se manejan en la corriente de aire secundario; para los cálculos ver apéndice B2.

Teniendo este dato, el calor se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Q_5 = F a.s. * Cp. a.s./te \quad (5.13)$$

- Aire terciario.

Al igual que para el cálculo del aire secundario, aquí se requiere conocer los kg. de aire por kilogramo de clínker (ver apéndice B2). Con este dato se podrá conocer el total de calor sensible proporcionado por el aire terciario ( $Q_6$ ).

$$Q_6 = F a.t. * Cp a.t./t.e. \quad (5.14)$$

- Calor sensible del exceso de aire de combustión.

Para asegurarnos que la reacción de combustión se realice al mayor porcentaje posible de reacción se suministra aire en exceso. Este exceso de aire será calculado tomando una muestra de aire a la salida del precalentador y analizándola con el Orsat (\*). Con la ecuación (5.14) se calcula el porcentaje de exceso de aire y luego con la ecuación (5.15) se obtiene el calor sensible proporcionado por dicho aire en exceso ( $Q_7$ ).

$$E (5.15) \quad \% \text{ Exceso de aire} = \frac{1}{(1 - (79/21) * (\frac{O_2}{100 - CO_2 - O_2}))}$$

$$E (5.16) \quad Q_7 = (\% \text{ Exceso de aire}) * F a.m. * Cp a.m./te$$

Calor sensible proporcionado por el exceso de aire del Folax

Es necesario determinar inicialmente los flujos de aire suministrados por los ventiladores del Folax. Existen dos formas de contabilizar este flujo de aire:

- Mediante las curvas de los conos piezométricos de los ventiladores.
- Tomando la presión dinámica y estática de cada uno de los ventiladores y realizando los mismos cálculos que para el flujo de aire primario (ver apéndice B2).

Teniendo los flujos de aire, se suman los flujos de todos los ventiladores y se obtienen los kilogramos de aire por kilogramo de clinker. Además es necesario considerar que el flujo de exceso de aire es igual a el flujo de ventiladores de Folax menos el aire secundario y el aire terciario. Esto es:

$$F_{e.a.f.} = F_v - F_{ap} - F_{a.s} \quad (5.17)$$

Finalmente para obtener el total de energía cedida se utiliza la ecuación (5.18).

$$Q_8 = F_{e.a.f.} * C_{pe} \text{ a.f./te} \quad (5.18)$$

Calor sensible proporcionado por la harina cruda (alimentación).

Es necesario tener calculados los kilogramos de harina cruda por kilogramo de clinker, obtenidos en el Balance de Materia antes realizado. La energía proporcionada por la harina cruda se contabiliza con la ecuación siguiente:

$$Q_9 = F_{h.c.} * C_{p h.c./te} \quad (5.19)$$

Calor sensible proporcionado por el polvo regresado al Horno

Nuevamente se necesitan los kilogramos de polvo retornado por - kilogramos de clínker del Balance de Materia. El calor obtenido se calcula con la ecuación (5.20).

$$Q_{10} = F \text{ p.r.h.} * C_p \text{ p.r.h./t.e.} \quad (5.20)$$

Por temperatura de entrada (t.e.) en este caso, se entiende aqué- lla temperatura medida en el punto más próximo al lugar de entra- da de polvos, por ejemplo, en el gusano del colector de polvos.

5.3.3 CALOR REQUERIDO POR EL SISTEMA DE HORNO.

Así como se suministra energía, existen requerimientos de ella. En esta sección se desglosaran éstos y se explicará su forma de obtenerlos. Muchas veces debido a la naturaleza propia del pro- ceso, se pierde energía. Este es el caso de la radiación y con- vección en las paredes del horno y de los ciclones o partes del precalentador. También existe pérdida de energía en aquellos - flujos de gases y polvos que salen del sistema a una temperatura mayor a la de referencia y los cuales no son utilizados. Los re- querimientos y pérdidas de energía se muestran enseguida:

- a) Productos de combustión.
- b)  $CO_2$  de la harina cruda.
- c) Agua de harina cruda.
- d) Polvo al colector.
- e) Calor de reacción.
- f) Pérdidas por radiación y convección:
  - En ciclones del precalentador
  - En el horno
  - En la superficie del enfriador Folax.
- g) Pérdidas en el Enfriador Folax:
  - Por el calor del clínker
  - Por el exceso de aire
- h) Exceso de aire en el sistema

## a) Productos de combustión.

Es necesario calcular los kilogramos de gases despedidos por kilogramo de combustible consumido. Posteriormente se multiplica lo anterior por el factor A y por la capacidad térmica porcentual de la mezcla de gases evaluado a la temperatura de salida del flujo. En nuestro caso, la temperatura a la salida del precalentador.

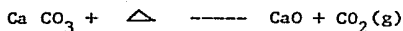
Esto es:

$$- Q_{11} = G \text{ p.comb.} * A * C \text{ p. comb/t.s.} \quad (5.21)$$

Calculos a mayor detalle en el apéndice (B3).

b) CO<sub>2</sub> de la harina cruda.

Al llevarse a cabo la calcinación de la harina cruda, se produce la siguiente reacción:



Existiendo por tanto, un desprendimiento gaseoso de Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). Este gas debe ser contabilizado al igual que los productos de combustión como salidas del sistema. La forma de obtener el cálculo de la energía disipada es la siguiente:

$$- Q_{12} = F (\text{CO}_2) \text{ h.c.} * C \text{ p} (\text{CO}_2) \text{ h.c/t.s.} \quad (5.22)$$

## c) Agua de la harina cruda.

Del Balance de Materia previamente realizado se tiene los kilogramos de agua por kilogramo de clinker, lo único que se tiene que hacer es considerarla ahora como vapor de agua y multiplicar el flujo por la capacidad calorífica del vapor de agua a la temperatura de salida del precalentador.

$$- Q_{13} = F \text{ a.h.c.} * C_p \text{ a h. c./t.s.}$$

(5.23)

## d) Polvos al colector.

Parte de la harina cruda es arrastrada por los gases; estos son los polvos que son recogidos por el colector. Mismos - que fueron calculados en el Balance de Materia. La ecuación (5.23) muestra la forma de obtener el total de calor disipado por cuenta del flujo de polvos al colector.

$$- Q_{14} = F \text{ p.c.} * C_p \text{ h.c./t.s.}$$

(5.24)

## e) Calor de reacción.

Es aquí donde se calculan los requerimientos de energía que es necesario suministrar para poder obtener clinker (\*) a - partir de la harina cruda.

Primero se realiza un análisis de la harina cruda donde se deberán calcular los porcentajes de:

- $\text{Al}_2\text{O}_3$
- $\text{SiO}_2$
- $\text{Fe}_2\text{O}_3$
- % P.I.H.C.
- % T

Ya que se cuenta con ellos, se calcula el calor de reacción por la siguiente ecuación empírica.

$$- Q_{15} = 4.28 * \frac{1}{1 - \% \text{ P.I.H.C.}} * \% \text{ T} + 4.11 * \% \text{ Al}_2\text{O}_3 - 5.12 * \% \text{ SiO}_2 - 0.59 * \% \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

(5.25)

## f) Pérdidas por radiación y convección.

Las pérdidas de calor debida a la convección y radiación se-

calcula en base a las temperaturas de superficie y del coeficiente de transferencia de calor mediante la siguiente fórmula:

$$- Q_{16} = h * \text{AREA} * (T_o - T_a) \quad (5.26)$$

\* Para el cálculo de transferencia de calor mediante radiación interviene en la fórmula la temperatura absoluta. - Además se hace la aclaración que  $Q_{16}$  equivale a la suma de pérdidas por convección y radiación en horno, ciclones del precalentador y enfriador Folax. Algunas veces, por no poder realizarse estos cálculos se estiman de la manera siguiente:

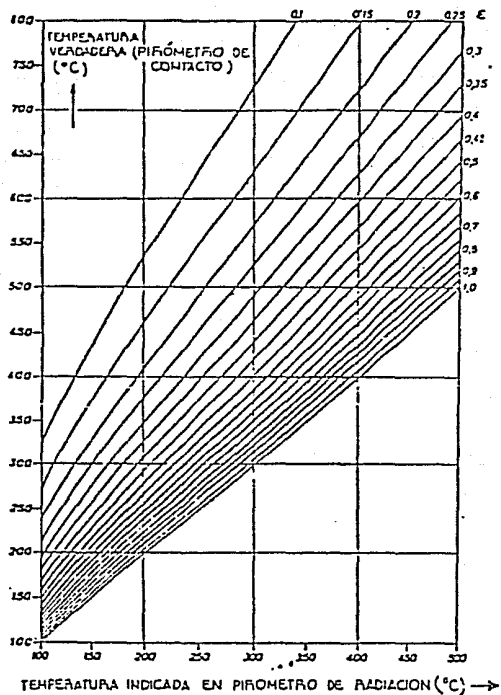
- Horno	50 - 70	KCAL/KG CLINKER
- Ciclones	5 - 10	KCAL/KG CLINKER
- Enfriador Folax	10	KCAL/KG CLINKER

La temperatura de superficie de la cubierta del horno se mide con pirómetro de contacto o de radiación. Cuando se utiliza un pirómetro de radiación, es posible que no se obtenga la temperatura verdadera, debido a la emisividad (\*) de la superficie. Se puede calcular la temperatura verdadera de superficie cuando se conoce o se estima la emisividad utilizando la gráfica 5.1 anexa.

Ya que se calculó (en el caso de ser necesario), la temperatura verdadera con la gráfica (5.1) se calculará el coeficiente global de transferencia de calor (h.). Este coeficiente es igual a:

$$h = h_r + h_c \quad (\text{KCAL/H}) \quad (5.27)$$

Donde  $h_r$  es el coeficiente de transferencia de calor por radiación y  $h_c$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección.



Gráfica 5.1 Relación entre la Emisividad  $E$  y la Temperatura Verdadera y Aparente de la Superficie.

La forma más práctica de realizar este cálculo es mediante - la gráfica (5.2). En ella se obtienen el total de  $\text{KCAL/m}^2\text{h C}^\circ$  tomando como base la temperatura de la superficie y la temperatura ambiente. Cabe hacer la aclaración de que se mantiene - constante C siendo ésta de 4.0. La constante C equivale a la multiplicación de la emisividad, la constante de Stefan-Boltzmann y el factor de intercambio de radiación.

Tanto la emisividad como el factor de intercambio de radiación son valores muy poco manejados e inciertos. Sin embargo se ha comprobado en la práctica que un valor de  $C = 4.0$  es bastante bueno.

g) Pérdidas en el Enfriador Folax.

- Por el calor del clinker.

Debido a que se tomó la base de cálculo de 1 kilogramo de clinker, entonces lo único que hay que hacer es multiplicar por el calor específico del clinker a la temperatura de salida del clinker.

$$- Q_{17} = 1 \text{ KG DE CLINKER} * C_p \text{ cl./t.s}$$

(5.28)

- Por el exceso de aire con el enfriador.

El flujo de exceso de aire en el enfriador calculado en la sección anterior (5.3.2 (c) ) Fe. a. f. es igual al flujo de exceso de aire a la salida. Solamente que ahora la temperatura a la cual se evalúa la capacidad calorífica ( $C_p$ ) es a la temperatura de salida.

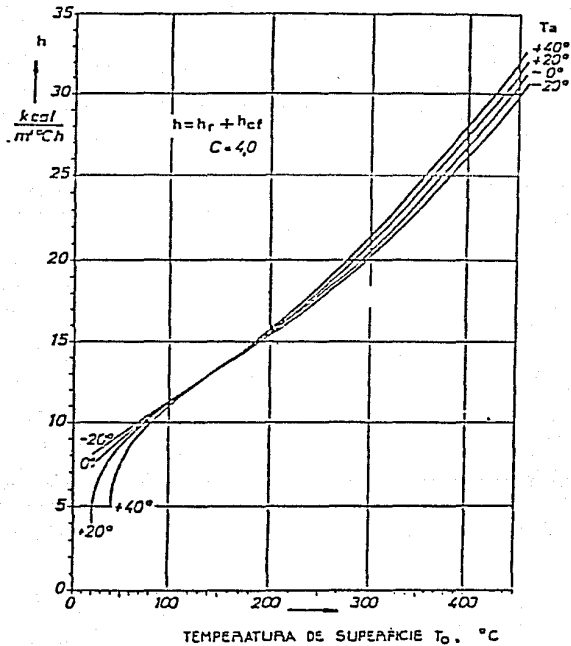
$$- Q_{18} = \text{Fe. a. f.} * C_p \text{ e.a.f./t.s}$$

(5.29)

h) Exceso de aire en el sistema.

El exceso de aire es igual al calculado en la sección anterior 5.3.2 (c), pero ahora el  $C_p$  será evaluado a la temperatura de





Gráfica 5.2 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR  $h_r$  Y  $h_{cf}$  CON  $C = 4$  CON DIFERENTES TEMPERATURAS AMBIENTALES.

salida de los gases en el precalentador.

$$- Q_{19} = \% \text{ Exceso de aire} * F \text{ a.m.} * C_p \text{ a.m./t.s.}$$

(5.30)

5.4 RESULTADOS DE UN BALANCE DE MATERIA Y TERMICO.

KG / KG CLINKER	ENTRADA	SALIENDO
Clinker		1.0
Harina cruda para clinker	1.54	
CO <sub>2</sub> de harina cruda		0.511
Polvos al colector		0.0924
Polvo retornado	0.09147	
Polvo perdido	0.00093	0.00093
CO <sub>2</sub> del polvo perdido		0.000028
Harina cruda del polvo perdido	0.000958	
Agua en harina cruda	0.0064	0.0064
Alcalis y otros de dif.		0.029
T O T A L	1.639758	1'639758

TABLA 5.1 BALANCE DE MATERIA

Los cálculos realizados se pueden observar en los apéndices A1 y A2.

Los cálculos realizados se encuentran en los apéndices B1, B2, y B3.

TABLA 5.2

## BALANCE DE ENERGIA

ENTRANDO	KCAL/KG CLINKER	°C
COMBUSTIBLE (CONSUMO DE CALOR)	X	
COMBUSTIBLE CALOR LIBRE	$6.68 E^{-3} X$	145
AIRE DE COMBUSTION: PRIMARIO	0.7048	34
SECUNDARIO	$6.32 E^{-3} X - 0.7$	34
TERCIARIO	$9.48 E^{-3} X$	34
EXCESO DE AIRE	0.0158	34
EXCESO DE AIRE DEL FOLAX	$18.63 - 0.0157 X$	34
ALIMENTACION HARINA CRUDA	19.48	60
POLVO RETORNADO	2.4697	125
SALIENDO TOTAL	$40.58 + 1.02258 X$	
PRODUCTOS DE COMBUSTION	$0.1382 X$	350
CO2 DE LA HARINA CRUDA	41.85	350
AGUA DE LA HARINA CRUDA	8.428	350
POLVO AL DRACCO	7.57	350
CALOR DE REACCION	412.67	
PERDIDA DE SUPERFICIE: CICLONES	7.5	
HORNO	60	
PERDIDA EN EL FOLAX: CALOR DEL CLINKER	17.28	90
PERDIDA DE SUPERFICIE	10.0	
EXCESO DE AIRE	$198.17 - 0.1678 X$	350
EXCESO DE AIRE DEL SISTEMA	$0.168 X$	350
TOTAL	$763.46 + 0.1384 X$	

$$Y \quad X = 817.64 \text{ KCAL/KG CLINKER}$$

En este caso el consumo de KCAL por kilogramo de clinker, es alto para las metas de producción. Por lo que será necesario continuar realizando este tipo de Balance y evitar lo más posible las pérdidas o consumos innecesarios de energía.

NOMENCLATURA DEL CAPITULO 5

A	(=)	Factor igual a X/P.C.c.
Area	(=)	(m <sup>2</sup> )
Cp	(=)	Capacidad térmica (KCAL/KG)
do	(=)	Diámetro interno (m)
% Exceso de aire	(=)	Porcentaje de exceso de aire
G	(=)	Flujo másico por kilogramo de combustible (KG/KG COMB)
F	(=)	Flujo en unidades de (KG/KG DE CLINKER)
% H	(=)	Porcentaje de humedad en la harina cruda
h	(=)	Coefficiente global de transferencia de calor (KCAL/M <sup>2</sup> °C)
hc	(=)	Coefficiente de transferencia de calor por convección
hr	(=)	Coefficiente de transferencia de calor por radiación
% P a el colector	(=)	Porcentaje de polvos que van al colector
P.C.	(=)	Poder calorífico de un energético (KCAL/KG COMBUSTIBLE) ó (KCAL/Nm <sup>3</sup> )
% P.I.C.	(=)	Porcentaje de pérdidas por ignición en el colector de polvos
% P.I.H.C.	(=)	Porcentaje de pérdidas por ignición de la harina cruda
% P.P.	(=)	Porcentaje de pérdida de polvos
% P.R.H	(=)	Porcentaje de polvos que son regresados al sistema <u>cri</u> ginal (al Horno)
Ps	(=)	Presión estática (mm H2O)
Pt	(=)	Presión total (mm H2O)
Qs	(=)	Calor suministrado por el contenido de carbono en la alimentación del Horno (KCAL/KG CLINKER)
Q <sub>2</sub>	(=)	Calor suministrado por el contenido de pirita en la alimentación del Horno (KCAL/KG CLINKER)
Q <sub>3</sub>	(=)	Calor sensible aportado por el combustible (KCAL/KG DE-CLINKER)
Q <sub>4</sub>	(=)	Calor sensible del aire primario (KCAL/ KG CLINKER)
Q <sub>5</sub>	(=)	Calor sensible del aire secundario (KCAL/KG CLINKER)
Q <sub>6</sub>	(=)	Calor sensible del aire terciario (KCAL/KG CLINKER)
Q <sub>7</sub>	(=)	Calor sensible del exceso de aire de combustión (KCAL/KG CLINKER)
Q <sub>8</sub>	(=)	Calor sensible proporcionado por el exceso de aire del-Folax (KCAL/ KG CLINKER)

Q <sub>9</sub>	(=)	Calor sensible proporcionado por la harina cruda (KCAL/KG DE CLINKER)	-
Q <sub>10</sub>	(=)	Calor sensible proporcionado por el polvo regresado a el Horno (KG/KG CLINKER)	-
- Q <sub>11</sub>	(=)	Calor p�rdido en los gases de combustión	
- Q <sub>12</sub>	(=)	Calor perdido en el Bióxido de carbono desprendido durante la calcinación de la harina cruda.	-
- Q <sub>13</sub>	(=)	Calor perdido por el vapor de agua desprendido de la harina cruda.	-
- Q <sub>14</sub>	(=)	Calor que sale del sistema mediante los polvos (harina-cruda) arrastrados a el colector (KG/KG CLINKER)	
- Q <sub>15</sub>	(=)	Calor requerido para que se lleven a cabo las reacciones de clinkerización (KCAL/KG CLINKER)	
- Q <sub>16</sub>	(=)	Pérdida de energía por convección y radiación en KG CLINKER	
- Q <sub>17</sub>	(=)	Pérdida en el Enfriador Folax por el calor del clinker a la salida (KCAL/KG CLINKER)	
- Q <sub>18</sub>	(=)	Pérdida por el exceso de aire en el Enfriador Folas (KCAL/KG CLINKER)	-
ZT	(=)	Porcentaje de titulación	
To	(=)	Temperatura de superficie (OK)	
Ta	(=)	Temperatura ambiental (OK)	
V ducto	(=)	Velocidad en un ducto (m/seg)	
W	(=)	Flujo m�sico (KG)	
X	(=)	Factor a calcular dentro del Balance térmico (KCAL/KG - DE CLINKER)	

## ABREVIATURAS

a	(=)	Aire
a.h.c.	(=)	Agua de la harina cruda
a.m.	(=)	Aire mínimo requerido
a.p.	(=)	Aire primario
a.s.	(=)	Aire secundario
a.t.	(=)	Aire terciario
c	(=)	Combustible
cl	(=)	Clinker
co	(=)	Combustóleo
(CO <sub>2</sub> )	(=)	Bióxido de carbono de la harina cruda
(CO <sub>2</sub> ) p.p.	(=)	Bióxido de carbono de los polvos perdidos
e	(=)	Productos extras como álcalis
e.a.f.	(=)	Exceso de aire del Enfriador Folax
g	(=)	Gas
h.c.	(=)	Harina cruda
h.c.p.p	(=)	Harina cruda de los polvos perdidos
p.c.	(=)	Polvos del colector
p. comb.	(=)	Productos de combustión
p.p.	(=)	Polvos perdidos
p.r.h.	(=)	Polvos regresados al horno
te	(=)	Temperatura de entrada
ts	(=)	Temperatura de salida
v	(=)	Ventiladores

## SIGNOS

(=)	Calor
(=)	Densidad
(=)	Calor de vaporización

C A P I T U L O 6

## 6. TEORIA DE PLANEACION, PROGRAMACION Y CONTROL DE ACTIVIDADES OPERACIONALES.

### 6.1 INTRODUCCION.

Así como en los primeros tiempos los hombres se agrupaban para efectuar mejor sus tareas, actualmente lo hacen también para formar las diferentes empresas.

La conciencia de la verdadera función de dirección en la empresa, así como sus responsabilidades, influyen fuertemente en el éxito o fracaso de la misma. Las actividades desarrolladas en las empresas pueden ser de dos tipos:

\*Las actividades rutinarias que podemos considerar como continuas.

\*Las que quedan limitadas en el tiempo y que hemos considerado como operacionales.

Es precisamente a las actividades operacionales a las que se aplican las técnicas que aquí vamos a tratar, pues su planeación, programación y control debe hacerse en forma específica y única para la ocasión.

Entre este tipo de actividades encontramos, por ejemplo: la construcción de una nueva bodega para materiales, el estudio de mercado para los nuevos productos, etc.

### 6.2 REPRESENTACIONES GRAFICAS DEL TIEMPO COMO MEDIO DE PROGRAMACION Y CONTROL.

#### Gráficas de Gantt

Henry Laurence Gantt, originario de Maryland, EU (20 de Mayo 1861 - 23 de Nov. 1919), ingeniero industrial graduado en la Universidad Johns Hopkins, ha sido considerado por el Instituto Americano de Ingenieros Industriales como el miembro más sobresaliente de la profesión por su insistencia en el trabajo de ingeniería y administración para el servicio de la comunidad.

Entre las aportaciones que hizo a la administración de empresas, se consideran sus conceptos sobre "motivación" por ser él un estudioso y efectivo evaluador del elemento humano en la productividad, sus teorías y prácticas sobre la remuneración al trabajo y sus libros Industrial Leadership, Organizing for work y Work, wages and profits.

Pero quizá la aportación más conocida ha sido la gráfica Gantt. Dicha gráfica consiste en predeterminar cuáles son las actividades principales, cuál su duración y representarlas a cierta escala de manera que, a cada actividad le corresponda un renglón de la lista, que generalmente establece también el orden de ejecución de las actividades, situándose la barra representativa de cada actividad a lo largo de una escala de tiempos efectivos.

La gráfica de Gantt, debido a la forma en que relaciona por su presentación a los hechos y al tiempo, es una de las más notables contribuciones que la dirección de empresas se ha proporcionado en este siglo.



Gantt fundó su método gráfico en dos principios:

- . "En el hecho de que todas las actividades pueden ser medidas por el tiempo que se requiere para su realización."
- . "Que el espacio que representa la unidad de tiempo en la gráfica, puede ser hecho para representar la cantidad de actividad que debió haberse realizado en este tiempo".

### 6.3 Ventajas de la gráfica Gantt:

- . La gráfica Gantt hace necesaria la existencia de un plan. El registro de dicho plan permite la comprensión y la asignación de tareas a las personas que participarán.
- . Compara lo realizado con lo planeado.
- . La comparación del cumplimiento de los programas es muy sencilla y permite al directivo estudiar las tendencias y tomar decisiones correctivas.
- . La información puede ser sintetizada en una sola hoja.
- . Es fácil de trazar.
- . Son fáciles de leer.
- . Permite observar el transcurso del tiempo.
- . Permite reducir los tiempos ociosos.

### 6.4 El trazado de la gráfica de Gantt.

En la gráfica de Gantt una división de espacio representa tanto una cantidad de tiempo como una cantidad de trabajo para realizarse en ese tiempo.

Las líneas horizontales trazadas a través de un espacio definido, muestran la relación entre la cantidad de trabajo realizado en ese tiempo, con la cantidad programada.

Esto es lo que distingue a la gráfica Gantt de otras gráficas.

Divisiones iguales de espacio en una sola línea horizontal representan simultáneamente:

- . Iguales divisiones de tiempo.
- . Diferentes cantidades de trabajo realizado.
- . Diferentes cantidades de trabajo programado.

### Tipos de Gráficas Gantt

Los principios de la gráfica de Gantt pueden ser aplicados a cualquier actividad humana.

Las unidades de tiempo utilizadas podrán variar en cada caso, dependiendo del tipo de actividad que se registra. Podrán ser horas, turnos, días, semanas o meses.

Las actividades a realizar podrán también variar, dependiendo del objetivo que se persiga con su registro. Podrá programarse el tiempo:

- de las máquinas
- de los hombres
- de los lugares de trabajo
- de los procesos
- etc.

Utilizando los principios definidos por Gantt y añadiendo diferentes codificaciones, se puede dar a la gráfica una gran flexibilidad, por ejemplo el uso del color, el cual facilita la identificación de algún o algunos aspectos importantes de la actividad de que se trate.

El uso de elementos móviles permiten en la Gráfica Gantt hacer los ajustes necesarios a un programa, ya sea para anticipación o trazo de flechas, alteración en el orden o secuencia de las operaciones, intercambio, adiciones o eliminación de actividades, etc.

#### 6.5 DISTRIBUCION DE TRABAJO O CARGAS DE TRABAJO.

Las gráficas representan la planeación de un trabajo con la suficiente anticipación para que cada persona sepa que va a hacer y cuando lo va a hacer, de manera que así mismo se elimina al máximo mediante esta previsión las causas de la falta de hombres, materiales, máquinas, herramientas, órdenes, etc.

En el caso de un taller mecánico o un departamento de tipo industrial, la hoja que se use se dividirá dependiendo de la magnitud del tiempo requerido para los trabajos. Si éstos toman varias semanas, las columnas representarán semanas y las fracciones, días.

Las actividades se listan a la izquierda de la hoja, se determinan las operaciones a realizar y se asigna la operación a la cuadrilla correspondiente. Un ángulo con su abertura hacia la derecha significa la fecha en que el trabajo debe ser iniciado. Figura 2-7 (a).

Un ángulo con su abertura hacia la izquierda significa cuando el trabajo debe ser terminado. Figura 2-7 (b)

En la asignación de trabajo a las máquinas, es necesario conocer su avance. Esto se hace trazando una línea gruesa entre los ángulos antes explicados.

SIMBOLOS PARA EL TRAZADO DE LAS GRAFICAS DE GANTT



### 6.6 GRAFICAS ORTOGONALES.

La representación de estas gráficas se hace en coordenadas cartesianas, el tiempo se indica en las abscisas, y las descripciones y cantidades de trabajo, avances, erogaciones, etc. aparece en las ordenadas. La curva representa las previsiones acumuladas respecto al tiempo.

Estas gráficas ortogonales son de gran auxilio para el control de obras en proceso y se complementan con los programas de Gantt.

La producción teórica, la que debe esforzarse por obtener, se representa por una curva o una recta que parte del punto que indica la fecha prevista para la iniciación del trabajo y que termina en otro punto que representa la cantidad que deberá ser fabricada en la fecha prevista.

Al trazar lo ejecutado es fácil ver por simple lectura, cuál es el avance o el retraso que la producción real tendrá sobre la teórica prevista, y será posible tomar la acción adecuada con anticipación.

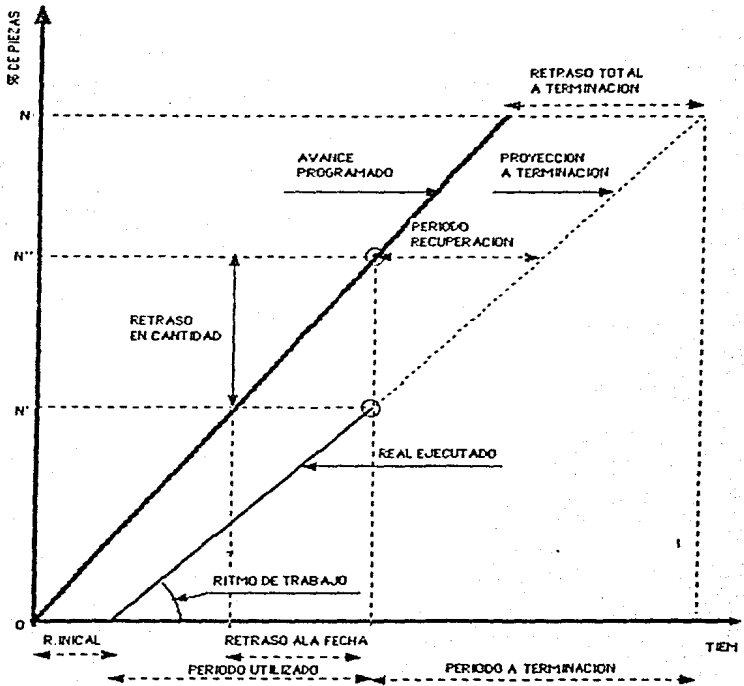
Las GRAFICAS LINEALES permiten representar los pronósticos o previsiones y las realizaciones en una sola magnitud, y es la relación entre una y la otra, con relación al tiempo. Las cantidades no son claramente indicadas, para conocerlo es necesario calcularlas.

Por lo contrario, las GRAFICAS EN COORDENADAS ORTOGONALES proporcionan por simple lectura directa:

- Las diferencias en tiempo y en cantidad, que pueden presentarse entre la producción prevista y la realizada.
- La relatividad de las velocidades de producción.
- El valor y la importancia de los inventarios entre las operaciones.
- La posibilidad de proyectar la terminación en base a la experiencia obtenida.

En la gráfica adjunta se muestra una actividad A A' prevista con inicio en T1 y terminación en T2 (eje de abscisas), con avance previsto n". En el eje de las ordenadas se representa a escala el % de avance o cantidad de trabajo desarrollado. En la fecha de corte T, con 0-n' se representa la ejecución real de esta actividad que se inició en T'1 y se encuentra retrasada con respecto a la previsión una cantidad n" - n' y con un tiempo de retraso a la fecha T'-T, y con un tiempo T-T3 requerido para recuperar el atraso (si las condiciones actuales se mantienen). Si proyectamos el punto D con la misma pendiente A'-D, la terminación se proyecta hasta T''2 con atraso total T2 - T'2.

# GRAFICA ORTOGONAL



## 6.7 INTRODUCCION A LA RUTA CRITICA.

El método de la ruta crítica (C.P.M. Critical Path Method) es una técnica - eficaz en la planeación y administración de todo tipo de proyectos. En esencia es la representación del plan de un proyecto en un diagrama o red, que describe la secuencia e interrelación de todas las componentes del proyecto, así como el análisis lógico y la manipulación de esta red, para la completa determinación del mejor programa de operación. Es un método que se adapta a la industria de la construcción.

Esta técnica se basa en que el tiempo total necesario para desarrollar un - proceso, depende de la suma de los tiempos necesarios para efectuar tan solo un número reducido de trabajos esenciales, los cuales frecuentemente representan menos del 20% del total de las tareas. Que el acelerar estos trabajos reduce el tiempo total de todo el proceso. Y que en general las medidas tomadas para acortar los otros, no tiene ningún efecto en la duración total.

Por consecuencia, al reducir el tiempo de las actividades que controlan la duración total (llamadas actividades críticas) se obtiene el efecto buscado, sin tener que pagar el precio exorbitante de acelerar todas las tareas.

La herramienta básica del método del camino crítico es la Gráfica de Flechas, que muestra el desarrollo lógico de todo el proceso productivo, así como la interrelación que existe entre todas las actividades que lo forman. Al igual que las Gráficas de Gantt, permite ordenar las actividades individuales y, basándose en las duraciones de las mismas, estimar cual será la duración total del proceso, con la ventaja sobre las gráficas de Gantt de que al detectar las actividades de las cuales depende básicamente la duración total del mismo, hace posible concentrar sobre todo el control en éstas, reduciendo por lo tanto los riesgos de retardar su terminación, lo que a su vez se traduce en una reducción substancial de los costos del control.

- B. La técnica de la ruta crítica tuvo su origen entre 1956 y 1958, en dos problemas simultáneos, aunque diferentes, sobre la planeación y control de - proyectos en E.U.

Por un lado, la Marina de Estados Unidos estaba interesada en el control de contratistas en su programa de proyectiles Polaris. Se les pedía a los contratistas que estimaran el tiempo requerido de sus operaciones con el siguiente criterio: tiempo optimista, tiempo pesimista y tiempo más probable. Posteriormente estas estimaciones se sometían a procesos matemáticos para determinar la fecha de terminación probable para cada contrato, y a este procedimiento convino en llamársele PERT, siglas de las palabras inglesas: Program Evaluation and Review Technique. Recientemente se ha introducido el costo - como dato, siendo conocido este sistema como PERTCO (PERT con costos). Por lo anterior es importante comprender que los sistemas PERT constituyen "un enfoque probabilístico" de los problemas de planeación y control de proyectos y son más apropiados para la información sobre trabajos en los que existe mayor grado de incertidumbre.

Por otro lado, la compañía E. I. du Pont de Nemours, estaba construyendo importantes plantas químicas en América. Estos proyectos requerían que el tiempo y el costo fueran estimados con bastante precisión. Fue este punto de - vista el que hizo nacer el método de la ruta crítica (CPM), que poco a poco

ha venido aumentando su uso en la industria de la construcción. A pesar de que siempre existen algunas variables inciertas en cualquier proyecto de construcción; el costo y tiempo correspondientes a cada operación pueden variarse satisfactoriamente y, posteriormente, todas las operaciones pueden revisarse por el CPM, de acuerdo con las condiciones que se hayan establecido originalmente y los imprevistos que se presenten en el momento de su realización.

### Definiciones Básicas.

Para evitar confusiones, es conveniente definir algunos de los términos que se emplean frecuentemente dentro de la terminología del Método del Camino Crítico, ya que algunos de ellos tienen una connotación especial.

#### Proceso productivo:

Conjunto de acciones u operaciones que si se realizan permitirán producir un objeto o un servicio. Se caracteriza por el objetivo que se pretende obtener. Si el proceso productivo por su propia naturaleza está limitado en el tiempo se dice que es un "Proceso Productivo operacional". Cualquier proceso productivo consta de 3 fases:

*Planeación.* Es el enunciado de las actividades que constituyen el proceso y el orden en que deben efectuarse (secuencia).

*Programación.* Es la elaboración de tablas o gráficas que indiquen los tiempos de terminación, de iniciación y por consiguiente la duración de cada una de las actividades que forman el proceso, en forma independiente.

*Control.* Se realiza mediante la elaboración de tablas o gráficas que permiten conocer las consecuencias de un atraso o un adelanto en cualquier actividad de un proceso productivo y tomar las correspondientes decisiones.

#### Actividad

Conjunto de tareas que es necesario efectuar o que suceden, para ejecutar cada una de las partes en que se ha descompuesto un proceso productivo. Se le representa por una flecha y se le denomina por sus eventos inicial y terminal.

#### Evento

Acto instantáneo que caracteriza la iniciación o la terminación de una actividad. Se le representa frecuentemente por un círculo o por un óvalo situado al principio o al fin de una actividad, y se le denomina por un número entero elegido en tal forma que sea de preferencia superior al de los eventos que le anteceden.

#### Gráfica

Diagrama con el que se representa un fenómeno, por medio de un conjunto de puntos unidos entre sí por una o más líneas. A los puntos se les denomina nudos y a las líneas ramas.

Flecha:

Rama a la que se le ha asignado un sentido. Si  $i$  es el nudo en que se inicia y  $j$  el nudo en que termina una rama dirigida, ésta se designa por el símbolo  $i-j$  y se representa así:



FIGURA 3-1

Trayectoria:

Conjunto de flechas que forman un camino que permita ir de un evento  $i$  a un evento  $z$ . Por ejemplo:

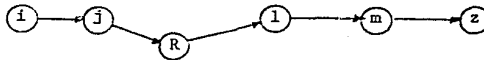


FIGURA 3-2

Gráfica de Flechas

Diagrama en el cual las ramas son flechas con las que se representa a todas las actividades de un proceso productivo, indicando la secuencia lógica y estructural de las mismas.

Camino Crítico

Es la trayectoria que más tiempo toma en todo un proceso productivo.

VENTAJAS DE LA PROGRAMACION CPM.

- 1o. Permite conocer los diferentes órdenes de importancia de las actividades.
- 2o. Permite conocer cuáles son las actividades que controlan el tiempo de duración de un proceso.
- 3o. Permite conocer los recursos requeridos para cualquier momento de la ejecución del proceso.
- 4o. Permite analizar el efecto de cualquier situación imprevista y sus consecuencias en la duración total del proceso.
- 5o. Permite deslindar responsabilidades de los diferentes organismos que intervienen en un proceso.
- 6o. Permite programar más lógicamente.

PASOS PARA APLICAR EL METODO DE CAMINO CRITICO.

Un error muy frecuente en este tipo de trabajos es la confusión entre las etapas de planeación y las etapas de programación. Recuérdese que la planeación es la decisión sobre las actividades que deben formar el

proceso y la secuencia de las mismas, mientras que la programación es la fijación de los tiempos iniciales y finales de cada una. Por lo tanto, al aplicar el Método del Camino Crítico, debe tenerse mucho cuidado de separar cuidadosamente estas dos actividades, que además de ser distintas por naturaleza, emplean capacidades mentales diferentes.

Los pasos que se siguen en la aplicación del método del Camino Crítico son:

#### Etapa de Planeación.

1. Enunciar las actividades componentes, clasificándolas en: Principales, de segundo orden, de tercer orden, etc.
2. Determinar la duración probable de cada una de ellas.
3. Analizar el orden en que deben efectuarse las actividades, no tanto según la secuencia cronológica, sino más bien según las secuencias estructurales, intrínsecas al proceso.
4. Representar el plan mediante una gráfica de flechas.

#### Etapa de Programación.

5. Calcular el tiempo más próximo y más remoto de cada evento y las holguras correspondientes.
6. Determinar el camino crítico.
7. Analizar el aumento de costo de cada actividad al tratar de reducir su duración.
8. Analizar los recursos (materiales, personal, equipo, capital, etc.) requeridos para cada duración posible de todas las actividades.
9. Calcular el costo mínimo asociado a cada duración posible del proceso.

#### LISTA DE ACTIVIDADES

Esta se establece en forma idéntica a como se hizo para el trazado de la gráfica de Gantt.

En las lista de actividades no debemos olvidar los tiempos necesarios para proyectos y trámites, indispensables para la ejecución de un proceso productivo, así como las actividades específicas de construcción.

#### ANTECEDENTES Y SECUENCIAS.

Después de la lista de actividades, el jefe del departamento técnico determina qué actividades son inmediata y necesariamente antecedentes a cada una de ellas, así como cuáles son las que pueden realizarse inmediatamente después de realizada la que se analiza. Este trabajo se simplifica si se utilizan diagramas o bien listas de antecedentes y secuencias.



Los nombres de las actividades, que como ya quedó indicado son los del evento inicial y terminal, se anotan en la matriz de antecedentes y secuencias, en la columna i-j. A partir de este momento a las actividades ya no se las denomina por su apelativo inicial, sino tan sólo por el nombre de sus eventos inicial y terminal.

#### TIEMPOS DE OCURRENCIA.

Aunque la red así trazada es de por sí un elemento útil e importante, ya que es la representación de la lógica del proceso, es sin embargo insuficiente para fines de programación, puesto que aún carece del concepto de tiempo.

Para eso es necesario estimar las duraciones de cada una de las actividades. En el caso de encontrarse con actividades completamente nuevas, es conveniente dividir la actividad en duda en elementos más pequeños, que permitan una estimación más exacta; la suma de estos tiempos en general proporciona una estimación más confiable que la simple estimación global.

Al fijar los tiempos de duración de las actividades, ya sean experimentales o estimados, deben ignorarse medidas tales como tiempos extra, aceleración del trabajo, utilización de más equipo, paros poco probables, etc., ya que lo que se pretende es determinar la duración normal de dicha actividad. A las duraciones fijadas se les denomina "duraciones seleccionadas".

Una vez conocida la duración seleccionada de cada actividad, es necesario determinar cuáles son los momentos de ocurrencia de cada uno de los eventos.

Antes de seguir adelante, es conveniente recordar la doble función de los nudos, ya que por una parte representan la terminación de la actividad anterior y por otra el comienzo de la actividad sucesora.

En el caso de representar la iniciación de una actividad, es obvio que un evento no puede tener lugar antes de que se hayan terminada todas las actividades que lo anteceden. Si varias actividades terminan en él, el tiempo de ocurrencia de dicho evento será igual al mayor de los tiempos de las actividades que lo anteceden. A este tiempo se le denomina TIEMPO MAS PROXIMO DE OCURRENCIA de dicho evento, e indica que dicho evento no puede ocurrir antes de este momento. El tiempo más próximo de ocurrencia del evento "i" se representa por "Pi".

Este razonamiento puede representarse utilizando los siguientes símbolos:

Pi = Tiempo más próximo de ocurrencia del evento inicial, de la actividad i - j .

Pj = Tiempo más próximo de ocurrencia del evento terminal j, de la actividad i-j.

Pij= Tiempo más próximo de ocurrencia de la actividad i-j.

dij= Duración seleccionada de la actividad i-j.

A partir de estas expresiones se obtiene:

$$P_{ij} = P_i + d_{ij}$$

$$P_j = \text{Máximo de los valores } P_{ij} \text{ de las actividades que terminan en el evento } j.$$

El cálculo de los tiempos más próximos de ocurrencia se facilita muchísimo si se hacen en la misma red, para lo cual se calculan los  $P_{ij}$  de cada rama, anotándolos en el punto en que llega la flecha a su evento terminal. En el caso de que varias actividades terminen en el mismo evento, se anotan todos los  $P_{ij}$  y se selecciona el mayor. Los  $P_{ij}$  en general se van tachando, encirculando o borrando, para conservar tan sólo los " $P_j$ ".

De esta manera hemos determinado lo más pronto que puede tener lugar un evento.

Los TIEMPOS MAS TARDIOS DE OCURENCIA de un evento, indican que dicho evento no debe ocurrir después de dicho tiempo, si no se desea retrasar la duración de todo el proceso. El tiempo más tardío de ocurrencia del evento  $i$  se representa por " $T_i$ ".

Para calcularlo, se puede proceder en forma similar a la utilizada para los " $P_i$ ",

$T_i$  = Tiempo más tardío de ocurrencia del evento inicial  $i$ , de la actividad  $i-j$ .

$T_j$  = Tiempo más tardío de ocurrencia del evento terminal  $j$ , de la actividad  $i-j$ .

$T_{ij}$  = Tiempo más tardío de ocurrencia de la actividad  $i-j$ .

$D_{ij}$  = Duración seleccionada de la actividad  $i-j$ .

A partir de estas expresiones se obtiene:

$$T_{ij} = T_j - d_{ij}$$

$$T_i = \text{Mínimo de los valores } T_{ij} \text{ de las actividades que se inician en el evento } i.$$

Este cálculo se acostumbra hacerlo también en la red en forma similar a como se hizo con los " $P_j$ ". Para no confundir los " $T_i$ " con los " $P_j$ ", se acostumbra subrayar a los primeros.

Una primera constatación es la de que algunas actividades tienen " $P_i$ " y " $T_i$ " diferentes y que se pueden iniciar en cualquiera de los dos, o en cualquier momento intermedio, pero para otras actividades " $P_i$ " es igual a " $T_i$ ", lo que significa que forzosamente deben iniciarse en ese momento y que si no se hace se retrasa todo el proyecto. A estas actividades es a las que se llama CRITICAS, y a la res que forman se le denomina CAMINO CRITICO. En la práctica se le representa por líneas de un color distinto al de la red, o por medio de una línea más gruesa.

#### HOLGURAS.

El máximo tiempo que puede retrasarse una actividad no crítica sin retrasar la terminación del proceso se le denomina holgura. Existen varios tipos de holguras, que se les define de la siguiente manera:

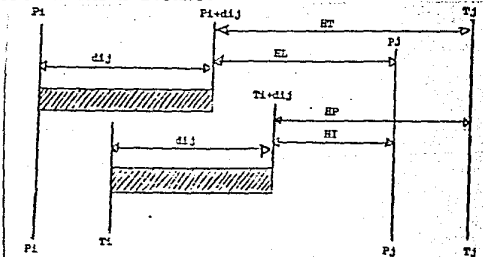
HOLGURA TOTAL (HT), es el máximo tiempo que puede retrasarse la terminación del evento  $j$ , de la actividad  $i - j$ , sin que se retrase la terminación del proceso.

HOLGURA LIBRE (HL), es el máximo tiempo que puede retrasarse la terminación del evento  $j$ , de la actividad  $i - j$ , sin que se retrase la iniciación en la fecha programada del evento inicial de la o las siguientes actividades, sin afectar ninguna de las holguras de las actividades subsiguientes y sin retrasar la terminación del proceso.

HOLGURA PARCIAL (HP), es el máximo tiempo que puede retrasarse la terminación del evento  $j$ , de la actividad  $i - j$ , sin retrasar la terminación del proceso, si el evento inicial  $i$ , de la actividad  $i - j$ , se inició lo más tarde que podía iniciarse.

HOLGURA INDEPENDIENTE (HI), es el máximo tiempo que puede retrasarse la terminación del evento  $j$ , de la actividad  $i - j$ , sin que se retrase la iniciación en la fecha programada del evento inicial de la o las siguientes actividades, sin afectar ninguna de las holguras de las actividades subsiguientes.

#### REPRESENTACION GRAFICA DE LAS HOLGURAS.



Por razonamiento se determinan:

$$HT_{ij} = T_j - (P_i + d_{ij})$$

$$HL_{ij} = P_j - (P_i + d_{ij})$$

$$HP_{ij} = T_j - (T_i + d_{ij})$$

$$HI_{ij} = P_j - (T_i + d_{ij})$$

#### EJECUCION DEL PROGRAMA

Todo programa para su realización requiere forzosamente de la comunicación del mismo a todo elemento humano que se encuentre involucrado, es decir, los proveedores de materiales, los proveedores de equipo, de servicio, el personal ejecutivo de obra, como son: los supervisores, los obreros, etc. Esta comunicación puede circunscribirse únicamente a la emisión de órdenes para la realización de cada una de las actividades programadas, o puede incluir, la necesidad de reuniones, juntas, instrucciones verbales, reportes, etc. que permitan al Director de la Obra, en primer lugar, tener la seguridad de que lo que se planeó ha sido comprendido por todos los hombres que intervienen, así como el garantizarle la recepción de la información correspondiente a las actividades que se están realizando.

Para poner en marcha un programa se requiere de una organización bien estructurada que llevará a cabo la realización del plan. Uno de los elementos principales en esta etapa es la COMUNICACION que puede tener entre otros objetivos los siguientes:

Información de tipo histórico, comunicación de instrucciones, información para tomar decisiones, información para proporcionar un conocimiento, etc.

#### CIRCUITO DE LA COMUNICACION

Analicemos la comunicación de instrucciones y la comunicación para tomar decisiones. Si representamos gráficamente los mecanismos de esta comunicación nos encontraremos con lo siguiente: de acuerdo con una meta fijada por la Dirección se ha planeado y elaborado un programa de actividades que pretende alcanzar esa meta. Para poder llevar a cabo dicho programa es necesario que con sus datos, se comuniquen instrucciones en cada caso: la comunicación de estas instrucciones de preferencia deberá hacerse por escrito, observándose que la presentación del contenido es la adecuada para la interpretación correcta por parte del receptor de la instrucción. Esta instrucción viene a significar también la autorización para ejecutar una actividad, mas si durante la ejecución se presenta una situación no prevista o que sale de los límites estipulados en la instrucción, por ejemplo: variación en la calidad, la cantidad, el tiempo o los medios, la Dirección deberá tener conocimiento de ello con objeto de poder decidir sobre la alternativa a tomar, así como la aceptación de las consecuencias que esa alternativa provoque. Dependiendo de esa aceptación, en la mayor parte de los casos, de que la alternativa a tomar afecte tanto en tiempo como en los medios al programa original, es decir, llevar a cabo todos los ajustes pertinentes que puedan modificar las condiciones originales planeadas para su realización.

#### PROGRAMACION DE RECURSOS

La programación de las actividades nos permite llevar a cabo un análisis inicial de los medios o recursos que deberán emplearse.

#### MATRIZ DE DURACION Y RECURSOS

En una representación tabular se enlistan las actividades, la secuencia de realización, la cantidad de trabajo de cada una, los rendimientos y la cuadrilla que los llevará a efecto, la fecha de inicio.

Los recursos los encontramos tabulados, con el número de hombres necesarios para cada actividad, a un lado su costo y en la primer columna el tiempo normal asignado para la ejecución de su actividad correspondiente.

Considerando inicialmente el recurso humano, debemos de relacionar a éste con el programa, pero de preferencia clasificándolo de acuerdo con su participación en actividades críticas y en actividades no críticas. Este análisis nos permitirá conocer con anticipación el número de hombres que se necesitan en cada fecha. Cuando los recursos de qué se dispone son limitados, nos permiti-

te con anticipación plantear una solución para los casos en que los recursos que se necesitarán sobrepasen a los disponibles. Así mismo como en todo proceso debe de preferencia buscarse un empleo equilibrado de los medios. El análisis de recursos nos permite evitar las demandas excesivas como las reducciones bruscas y su repetición en todo el programa, ya que la contratación, despido y recontratación incluyen una serie interminable de problemas tales como: el adiestramiento, la adecuación, baja calidad etc.

En los caso en que el análisis se refiere a los recursos económicos, las conclusiones pueden ayudar a evitar carencias de capital debido a una gran velocidad de inversión o al incremento exagerado de los gastos, problemas con proveedores de equipos, materiales y servicios, problemas de obtención expédita de un crédito, etc.

Como punto más importante en cuanto al análisis del recurso requerido, dinero o financiamiento, se tiene la posibilidad de desarrollar estados financieros previsionales, presupuestos para gastos e inversiones, presupuestos de ingresos y egresos, así como programas que faciliten la organización eficiente de los pedidos, las compras o la contratación de los recursos requeridos.

#### NIVELACION DE RECURSOS

Con los datos del programa de actividades, así como el cuadro de recursos, se traza la gráfica de utilización de recursos. En éstas se han graficado únicamente los recursos humanos, separando a los que participan en las actividades críticas de las que no lo son. Los recursos que se emplearán en las actividades no críticas pueden retrasarse tanto en su iniciación como en su terminación y esta facilidad nos favorece para utilizarlos más eficientemente. Si graficamos en función del tiempo al recurso "mecánicos" se hará evidente lo indicado en el párrafo anterior. Si este recurso se analiza en función de las holguras que las actividades nos indican, es notorio que se podría lograr una mejor solución sin alterar el camino crítico de este proceso.

Cuando la acumulación de los recursos requeridos es cuantificable, como en los casos de consumo de energía, combustible, venta, acumulación de intereses, pago de sueldos y salarios, consumo de materiales, etc., esta acumulación puede presentarse en diferentes formas y dependerá básicamente del tipo de operación que se esté ejecutando. Puede representarse también gráficamente para poder observar su velocidad de consumo, gasto o acumulación y servirnos posteriormente como un medio para facilitar el control.

Como es normal en el tipo de actividades analizados por C.P.M. o P.E.R.T. la velocidad de consumo de un recurso no es constante, ya que esto siempre depende del programa que se formula para la realización del proceso.

Evidentemente la solución ideal nunca se encontrará pero siempre será aceptable metodizar un sistema de análisis que facilite a la Dirección la toma de decisión.

### ETAPAS PARA LLEVAR A CABO LA NIVELACION DE RECURSOS.

- 1o. Clasificar en orden decreciente de importancia los recursos que interviene.
- 2o. Presentar los más importantes, en forma gráfica, según el programa inicial de actividades.
- 3o. Presentar gráficamente los más importantes, de acuerdo con el programa inicial, pero buscando un empleo uniforme de los mismos, mediante el uso apropiado de las holguras.
- 4o. Registrar con toda claridad los factores limitantes en el uso de cada recurso como son: costo, disponibilidad, calidad, etc.
- 5o. Presentar la suma de las soluciones parciales en función de algún factor común, por ejemplo: costo, hombres, inversión, etc.
- 6o. Hacer un análisis comparativo de la primera con la segunda solución.
- 7o. Efectuar nuevos ajustes al programa de recursos.

### CONTROL DEL PROGRAMA.

El siguiente paso en la realización de un proyecto será su control.

Podemos aceptar que control es la comparación entre lo real y lo programado, así como las medidas que se tomen para alcanzar una meta preestablecida.

Si consideramos al elemento tiempo como uno de los elementos más importantes a controlar, podemos también presuponer las causas por las que este elemento no se ajuste a lo planeado, por ejemplo:

- Baja eficiencia del personal.
- Carencia del equipo adecuado.
- Retraso en la entrega de materiales o equipos.
- Baja calidad de los materiales.
- Errores en la comunicación.
- Modificación a las características del proceso, etc.

Como es natural, las posibilidades de que un proyecto no se cumpla 100% son muy altas, por lo tanto la dirección debe contar con los elementos suficientes para detectar las variaciones o posibles variaciones y así tomar las medidas pertinentes a cada caso.

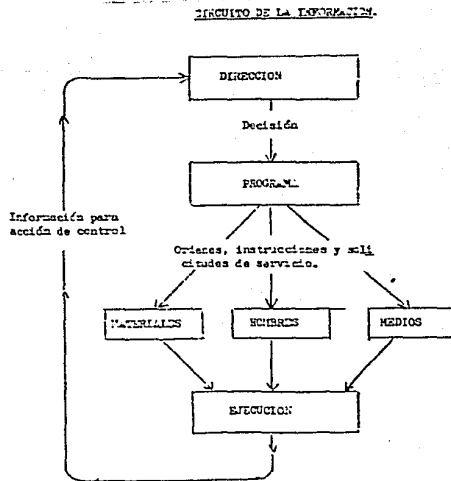
Si por las causas mencionadas se atrasa alguna actividad crítica, su efecto repercutirá en todo el proyecto. Más si por el contrario, el efecto es negativo, es decir, se reduce el tiempo de una actividad crítica, no siempre se reducirá en la misma proporción que el tiempo total esperado para la culminación del proyecto pues dependerá de las holguras totales de las actividades afectadas, pues algunas podrán convertirse en críticas. Es por esto que como elemento muy útil para el control, deberán considerarse los cocien-

tes de holgura (holgura total/duración) ya que una variación positiva en el tiempo de las actividades con un cociente bajo traerá normalmente un riesgo de convertirse en crítica o afectar a la duración total del proceso.

Para estar al tanto del avance del proyecto pueden utilizarse diferentes - medios, sin embargo, los más apropiados son:

- Gráficas Gantt. Registrando en ellas todos los avances, variaciones y efectos.
- Gráficas ortogonales. Registrando además las variaciones en cantidad.
- Recálculo de la red. Cuando las variaciones sobrepasan las holguras permitidas.

En todos los casos será necesario llevar casi en forma continua una buena - comunicación entre el personal Directivo y el Ejecutivo, con objeto de que las decisiones sean tomadas oportunamente. Quizá la base más importante de esta comunicación sea la retroinformación, es decir, la información que procede del proceso y que llega a los organismos de control. Ningún directivo podrá jactarse de serlo si no sabe qué es lo que debe suceder en un proceso (de acuerdo con su decisión) y que es lo que en realidad está sucediendo.



C A P I T U L O 7



## DESARROLLO DE UN PROYECTO PARA FABRICACION DE CEMENTO.

### 7.1 Introducción

El diseño y construcción de una planta de cemento demanda de los esfuerzos combinados y coordinados de un grupo de personas especialistas en los diferentes campos de la Ingeniería, como son: Geólogos, Mineros, Químicos, Civiles, Mecánicos, Eléctricos, Administradores, Contadores y especialistas en otras disciplinas, dirigidos por un Gerente de Proyectos capacitado, con amplios conocimientos en el manejo de proyectos de ingeniería, con experiencia en la fabricación de cemento. Será responsable de integrar, organizar y dirigir al grupo técnico que llevará a cabo los trabajos. Establecerá las prioridades de las diferentes fases y los programas cronológicos de realización de cada una de ellas.

Las empresas modernas de gran tamaño cuentan generalmente con un grupo permanente de técnicos especializados, responsables de la modernización de los procesos de fabricación, lo cual demanda que estén al día en los adelantos tecnológicos del proceso y en todo lo relacionado con la fabricación del cemento. Estas personas recomiendan las mejoras en los procesos o equipos existentes con el propósito de incrementar la eficiencia operativa, lograr un ahorro en el consumo de energéticos y/o de otros insumos, reducir la contaminación, etc. De este grupo depende la modernización de la empresa.

El grupo de Geología y Minas lleva a cabo los estudios geológicos de las diferentes regiones y tasa la calidad y capacidad de los yacimientos, las posibilidades y condiciones de adquisición de los terrenos y hace las recomendaciones correspondientes.

El grupo de Proyectos se encarga de llevar a efecto los proyectos de ampliaciones aprobados, cuenta con personal altamente especializado para desarrollar cualquier tipo de proyecto como la construcción de una planta totalmente nueva desde la etapa preliminar hasta la puesta en marcha.

La mayoría de estas empresas contratan con firmas especializadas el desarrollo de la ingeniería de detalle, construcción de obra civil, montaje mecánico e instalación eléctrica, lo cual exige de una supervisión adecuada que permita una comunicación rápida y oportuna en ambos sentidos (Empresa- Contratista), que evita los atascamientos y atrasos y hace fluido el desarrollo de los trabajos.

La empresa líder de ordinario explora y analiza los nuevos procesos tecnológicos en la parte operativa y económica cuando se decide construir una nueva planta o ampliar la capacidad de producción de una planta existente. Generalmente los lleva a cabo en 5 etapas o fases.

Fase I	Estudio Preliminar
Fase II	Estudio de factibilidad
Fase III	Ingeniería Básica
Fase IV	Ingeniería de Detalle
Fase V	Construcción, Comisionamiento y puesta en marcha.

#### Fase I Estudio Preliminar

En esta fase se efectúa una breve investigación para determinar si existen factores de peso que impidan el desarrollo y conclusión de un proyecto. Esta fase se inicia con la idea de satisfacer la necesidad actual o futura de un mercado regional determinado, que más tarde se materializará en una nueva planta de cemento o en la adquisición de una existente.

Generalmente, los especialistas en ventas realizan pronósticos de las demandas futuras determinadas en base a controles estadísticos de consumos de cemento en las diferentes entidades de la República Mexicana y en el exterior de esta. Se proyectan estrategias para cubrir esas demandas cuando no es posible satisfacerlas con la capacidad existente o no es posible económicamente por razones de distancia, etc. Se crea un problema a resolver: Satisfacerla ampliando la capacidad de producción existente, o

bien, creando una nueva planta que se localice en la proximidad de la zona que lo demanda.

El estudio preliminar comprende:

1. Revisión de documentos existentes: Reportes de consumos, - Pronósticos de demanda, investigaciones geológicas de la - región que determinarán la posibilidad de obtención de las materias primas necesarias. Las facilidades de transporte y obtención de los servicios de energía eléctrica, agua, - drenaje, etc.
2. Evaluación del potencial de la demanda que existe en la región en estudio, y elaboración de pronósticos de venta a mediano y largo plazo.
3. Inspección de los terrenos para estimar la calidad de las materias primas y volúmenes estimados, las posibles vías de comunicación por carretera, ferrocarril o barco. Localización aproximada de la nueva planta en función de los yacimientos y mercados de distribución.
4. Investigar las posibilidades de adquisición de los terrenos para establecer la nueva planta y facilidades de obtención - de mano de obra y clima laboral que existe en la región.
5. Con base en los datos de inversión se elabora un estimado de orden de magnitud con una precisión  $\pm 40\%$ .

Una vez analizados estos factores y determinada la conveniencia de continuar, se hace la recomendación correspondiente de continuar o abandonar.

#### Fase II Estudio de Factibilidad.

El estudio de factibilidad examina con mayor detalle y precisión los conceptos analizados en la etapa preliminar, aquí se confirma si la construcción de la nueva planta será redituable o no.

Esta fase del estudio comprende:

1. Estudio de Mercado - precios - distribución.

- Análisis de las condiciones de mercado, producción y consumo de cemento en el país y en el área de mercado natural del proyecto propuesto.
- Proyecciones a 15 años (de acuerdo a los pronósticos de venta elaborados) de la demanda de cemento en todo el país, y del área de mercado natural del proyecto propuesto.
- Análisis de la demanda por tipos de cemento, tipos de entregas (granel, sacos), e indicación de tendencias.
- Precio corriente estimado del cemento en el área de mercado, estimación de precios netos en planta, a granel, de los proveedores actuales. Influencia del gobierno en los niveles de los precios. Cálculo de precios netos actuales en planta para la planta propuesta.
- Derechos de importación, restricciones de importación, impuestos.
- Características de los proveedores actuales, naturaleza de la competencia, división de las ventas existentes, cambios indicados en las condiciones de proveedores. Participación estimada en el mercado. Proyecciones de ventas para el proyecto propuesto.
- Métodos de distribución de cemento, consumidores, distribuidores, gobiernos, almacenes y terminales, método de transporte.

2. Determinación del tamaño de la Planta

Se determinará el tamaño de la planta teniendo en consideración proyecciones de ventas, costo de la planta, costos operacionales, tasa de inflación, intereses y costos de una futura expansión.

3. Exploración general de materias primas.

El objetivo de la exploración de materias primas es tratar dentro del alcance del estudio de factibilidad de investigar las calidades y cantidades de materias primas en el área seleccionada. Incluye:

4. Investigación del sitio.

- Visita de campo e inspección del área.
- Estudio de todos los datos existentes en el país sobre la zona en cuestión.
- Ejecución de un levantamiento geológico preliminar en áreas con potenciales de materias primas para la fabricación de cemento.
- Colección de muestras en cantidad suficiente en las áreas con material calcáreo, arcilloso, etc.
- Determinación de requerimientos de materiales correctivos (sílice, bauxita, arenas ferrosas), aditivos (yeso, anhídrido) y centros de suministro de combustibles.
- Instrucción sobre la forma de la toma de muestras y la preparación de las muestras para los análisis.
- Realizar los trabajos de perforación y de toma de muestras con geólogos locales y con el contratista de las perforaciones.
- Análisis de las perforaciones y de los datos del núcleo.
- Revisión de los resultados de muestras de caliza y de los análisis químicos totales de las materias primas efectuados por un laboratorio especializado en el país.
- Determinación en los planos topográficos de los puntos de perforación y/o de zanjas a efectuarse en el área seleccionada.
- Planear la campaña de perforación.
- Preparación de mapas geológicos.

##### 5. Proyecto técnico preliminar.

- Recomendación de las canteras, concepto de explotación, - determinación del equipo principal requerido en las canteras.
- Preparación de especificaciones para la obtención del levantamiento topográfico preliminar del sitio de la planta y canteras.
- Preparación de especificaciones para la obtención de estudios preliminares de suelos e investigaciones para suministro de agua.
- Revisión del informe de investigación preliminar de suelos.
- Estudios de los sistemas de transporte de materias primas, aditivos y combustibles a la planta.
- Estudio de las posibilidades de conexión a la infraestructura existente (energía eléctrica, caminos, ferrocarril, muelles).
- Determinación de todos los reglamentos concernientes a la contaminación ambiental, reglamentos de seguridad, códigos de construcción y eléctricos.
- Selección y descripción del proceso de fabricación más apropiado de acuerdo a las propiedades de las materias primas y en base a los datos obtenidos de la prospección geológica e investigaciones de las materias primas.
- Cálculo de capacidades del equipo principal y facilidades de almacenamiento. Estimación del consumo de potencia de los motores de los molinos.
- Diagrama de flujo básico.
- Preparación de planos, mostrando la disposición básica de la planta y cortes principales.
- Lista preliminar de equipo.
- Estimación de energía eléctrica y capacidad de los transformadores principales o capacidad de generación de energía si es el caso.

- Diagrama eléctrico unifilar preliminar.
- Determinación de voltaje de las líneas de alimentación.
- Preparación del concepto de automatización y control.
- Preparación del concepto de control de calidad y del equipo correspondiente necesario.

6. Estimación de los Costos de Inversión.

- Integración de los costos locales de construcción, disponibilidad de materiales de construcción y costos de montaje de la maquinaria. Posibilidad de fabricación local.

Con base en datos locales, proyectos anteriores, ofertas preliminares y tasas asumidas de inflación, se integra el estimado de costo con una precisión del orden de  $\pm 25\%$  con información local concerniente a salarios, costos de combustible, energía eléctrica, agua y materiales de consumo.

7. Estimación de los Costos de Operación.

- Determinación preliminar de requerimientos de personal, disponibilidad de trabajadores especializados.

Con base en estos datos, en el personal estimado y materiales requeridos, se hará una estimación de los costos de operación fijos y variables, tomando también en consideración los costos de ventas y administración.

8. Programación.

Preparación de un programa preliminar de actividades que cubra el proyecto hasta su finalización.

9. Informe Final.

El informe final será un resumen breve de conclusiones y recomendaciones de acciones a seguir.

En el caso de una recomendación positiva, se llevan a cabo - los trámites financieros y legales necesarios para la adquisición de aquellos terrenos que aún no se hayan adquirido.

### Fase III Ingeniería Básica.

La ingeniería básica se inicia una vez que el informe final del - estudio de factibilidad ha sido aprobado y se ha tomado la decisión de seguir adelante con el proyecto.

Esta fase del estudio incluye el desarrollo de la ingeniería básica hasta el punto que permita la colocación de las órdenes de - compra de los equipos principales con plazo largo de entrega.

Esta fase del estudio incluye:

- Estudios de diseño y recomendación de alternativas, con participación de los departamentos mecánico, eléctrico y civil.
- Se lleva a cabo una evaluación técnica económica de los equipos de proceso, selección de los fabricantes y se determinan las - condiciones de precio, períodos de entrega, etc. En la selección de equipo se tiene en cuenta los equipos existentes, con - objeto de mantener la estandarización de maquinaria.
- Se elaboran los planos preliminares de arreglos de los equipos en cada área de proceso con detalle suficiente que permita dimiensionar y estructurar los edificios, cimentaciones de maquinaria, necesidades de servicios arquitectónicos, etc.

El diagrama de flujo elaborado inicialmente en la etapa preliminar se complementa con los datos e información obtenida en esta fase.

- Se llevan a cabo los estudios de mecánica de suelos del terreno donde se alojarán los edificios, silos y maquinaria principal.
- Se determinan las bases conceptuales para el diseño arquitectónico, estructural y constructivo de los edificios de proceso.
- Se revisan los planos preliminares de conjunto, se corrigen las



dimensiones de los edificios y su relocalización. Se indican los accesos por carretera y ferrocarril, etc.

- Se elaboran los listados de las necesidades de servicios que servirán de base para el dimensionamiento y diseño de las tuberías, y selección de los equipos menores de servicio, como bombas, compresores, sistemas de enfriamiento, etc.
- Se estudian y preseleccionan los contratistas que realizaron las ingenierías de detalle, los trabajos de terracerías y pavimentación en caminos y calles, la construcción de los edificios, los trabajos de montaje de maquinaria y equipos de proceso, instalaciones eléctricas, etc. Además se lleva a cabo:
- Determinación de las necesidades de energía eléctrica para tramitar la contratación con CFE.
- Se seleccionan los tipos de motores eléctricos principales.
- Elaboración de programa detallado que cubra el proyecto hasta su finalización.
- Definición de diseño civil. Tipo de cimentaciones y estructuras para edificios principales, techos, y muros, ventilación, etc.
- Tramitación de permisos de construcción, protección ambiental, etc.
- Elaboración de una estimación de inversión completa para la totalidad del proyecto, subdividida por departamentos.
- Se revisan los estimados de costos de construcción determinados en la fase anterior, en base a los dibujos y arreglos generales preliminares y se hacen las correcciones y ajustes correspondientes. Esta estimación tiene una aproximación de  $\pm 12\%$
- Elaboración de planos de calles interiores, alcantarillado y drenaje pluvial.
- Determinación de las facilidades de acceso: caminos, carreteras, ferrocarril, agua, drenaje, etc.
- Planeación de los edificios y servicios temporales necesarios para la planta: oficinas, almacenes, comedores, servicios sani-

tarios, casetas de vigilancia, casetas de control de calidad, - concretera y agregados, subestación temporal, talleres, malla - perimetral, pozos profundos, distribución de fuerza y alumbrado temporal, etc.

- Cálculo de la carga eléctrica requerida para construcción y con-  
tratación con CFE (en plantas nuevas).
- Cálculo aproximado del fierro de refuerzo requerido y coloca-  
ción de la orden de compra.
- Procuración y contratación parcial del personal de ingeniería y  
de supervisión de campo.

En esta fase se llevan a cabo los trabajos de terracerías y pre-  
paración del sitio de la planta (camino, drenaje pluvial, al-  
cantarillado). Una vez terminadas las terracerías se continúa  
con la construcción de los edificios y servicios temporales.

#### Fase IV. Ingeniería de Detalle

Esta fase se inicia con la elaboración de los planos de detalle para  
construcción, compra de los equipos menores y materiales para termi-  
nar con la última colocación de compra de fabricación de ductos, -  
tolvas, etc. Incluye lo siguiente:

#### Ingeniería Mecánica

- Preparación de los diagramas de flujo de procesos y servicio -  
finales.
- Elaboración de dibujos de arreglos generales de conjunto fina-  
les, incluyendo arreglos de equipo de cada uno de los departa-  
mentos.
- Preparación de planos de detalle de ductos, chutes, tolvas, so-  
portes estructurales.
- Preparación de planos de instalación de tuberías.
- Elaboración de las especificaciones para adquisición de equipos  
auxiliares y de servicios.
- Colocación de los pedidos de equipos, materiales y seguimiento  
del cumplimiento de entrega ó inspección de calidad (verificar

que se ajusten a planos y especificaciones y a plazos de entrega prometida).

### Ingeniería Civil

- Dependiendo de la capacidad de carga del suelo se diseñan las cimentaciones de edificios y maquinaria, incluyendo pilotes (si fuera necesario).
- Cálculo de las estructuras de acero y concreto y preparación de planos de fabricación y construcción correspondientes.
- Cálculo de cantidades de fierro de refuerzo requerido.
- Colocación de ordenes de compra complementarias.
- Cuantificación del fierro estructural requerido y colocación de las órdenes de compra.
- Elaboración de planos de drenaje pluvial y alcantarillado.
- Elaboración de especificaciones de pintura para las áreas que lo requieran.
- Elaboración de los programas de ingeniería de diseño y construcción de los edificios, cimentaciones de maquinaria para cada uno de los departamentos, respetando las fechas y plazos.

### Ingeniería Eléctrica

Se complementan los diagramas unifilares desarrollados en la fase anterior, se revisan las especificaciones de los equipos de distribución de fuerza en alta tensión. Se elaboran las especificaciones de los equipos de distribución en baja tensión, equipos de control. Se colocan la totalidad de las órdenes de compra hasta finalizar todos los trabajos de ingeniería eléctrica. Incluye lo siguiente:

- Determinación del sistema de control y automatización, para los equipos principales, hornos, molinos, etc.
- Elaboración de los diagramas lógicos de control.
- Elaboración de los diagramas unifilares de instrumentación.
- Elaboración de los planos de distribución de fuerza en alta tensión, incluyendo subestación principal y secundarias.

- Elaboración de los diagramas unifilares y de distribución en baja tensión, alumbrado y contactos, tierras y protección atmosférica para cada una de las áreas de proceso, servicio y exteriores.
- Elaboración de dibujos de arreglo de equipo para sala de control central (COP), incluyendo diagramas mímicos de los tableros de señalización para cada departamento de proceso.
- Elaboración de especificaciones de conductores, charolas, luminarias, tableros de centro de control de motores, tableros de alumbrado, cuantificación y colocación de las órdenes de compra correspondientes.

#### Concursos y Contratos

Se preparan los documentos de invitación a concurso para la elaboración de las ingenierías de detalle de cada una de las disciplinas y por departamento de proceso y servicios considerados, que en términos generales consta de:

- \* Carta de invitación.
- \* Descripción de alcance de trabajo solicitado.
- \* Calendario de elaboración de diseño y planos y especificaciones.
- \* Formatos para desglose de precios.

Se continúa con la revisión y aclaraciones de las ofertas recibidas, tabla comparativa, recomendación y selección de la firma de ingeniería, revisión rutinaria para comprobar que los dibujos, especificaciones se ajusten a las prioridades y requerimientos solicitados y a los plazos establecidos.

Una vez elaborados los planos y especificaciones, se lleva a cabo la invitación a concurso de construcción de los edificios y cimentaciones de maquinaria. La selección de los contratistas se hace siguiendo un procedimiento similar al utilizado en la ingeniería de detalle.

Se requiere contar con el personal de supervisión de campo que vigilará el desarrollo de los trabajos de construcción permanentemente -

hasta la terminación.

Los concursos y contrataciones de montaje mecánico, instalación eléctrica se llevarán a cabo oportunamente. Para esto es necesario contar con los planos, especificaciones y otros documentos para la licitación a concurso de los montajes mecánicos, contar con los trabajos de obra civil terminados, como son, los edificios y cimentaciones que alojarán a las maquinarias; contar con los equipos materiales de tuberías, estructurales requeridos para que el contratista lleve a cabo los trabajos contractuales.

En esta etapa es necesario llevar a cabo un monitoreo de las órdenes de compra colocadas. Se requiere una expedición dinámica mediante la inspección directa en los talleres de los fabricantes, revisando la calidad de fabricación, los avances, y detectando con anticipación los posibles cuellos de botella, como son, los faltantes de materias primas, láminas de acero especiales o de acero al carbón calibradas, componentes mecánicos o eléctricos, motores eléctricos especiales, etc. que algunas veces no es fácil localizar en el mercado nacional, y que es posible con nuestra participación procurarlo en otro lado, ya sea nacional o de importación, evitando así un retraso efectivo en cascada, repercutiendo primeramente en el montaje de los equipos y más tarde en la instalación eléctrica.

## FASE V CONSTRUCCION, PRUEBAS DE CONSTRUCCION Y PUESTA EN MARCHA

En esta fase se ordenan las compras de materiales y equipos menores no solicitados en la fase anterior. Se realiza la totalidad de construcciones de edificios, cimentaciones de equipo, montaje mecánico de los equipos de proceso y servicios, instalación eléctrica de fuerza en alta y baja tensión, instrumentación y control, alumbrado y sistemas de tierra. Por otra parte, el área de operación procura, selecciona, contrata, capacita y entrena al personal que se hará cargo de efectuar las pruebas de construcción y operación propia de la nueva planta, pruebas de construcción de los equipos en vacío, individuales y de conjunto. Las pruebas con producto, el arranque inicial y la entrega de los equipos en pleno funcionamiento y producción al departamento de Operación, marca la conclusión y aceptación de los trabajos de construcción realizados por el personal de Proyectos y Construcciones e inicia la etapa de operación. En adelante, la operación, mantenimiento, etc. será realizado exclusivamente por el personal de operación.

Más tarde cuando la operación se normaliza y se haya alcanzado la capacidad "nominal adquirida", el personal de Operación extiende el acta de aceptación correspondiente para cada equipo principal; en caso contrario, conjuntamente con el personal del fabricante se realizan las pruebas de revisión de garantía cuyo propósito inmediato es determinar las causas que limitan la capacidad y hacer las correcciones pertinentes. Incluye además:

### Canteras

- Trazo terracerías. Pavimentación de los caminos de acceso a las canteras.
- Recepción de los equipos móviles para la explotación de la cantera.
- Construcción de subestaciones eléctricas, oficinas, polvorines, - distribución de fuerza y alumbrado.
- Preparación de los frentes de explotación de canteras.

- Iniciar la explotación de los frentes y determinación de la calidad mediante continuos ensayos químicos y mineralógicos.
- Una vez aceptada la calidad, se inicia la transportación masiva de materia prima hacia la planta.

#### PLANTA DE CEMENTO.

- En las etapas anteriores se mencionó que se inició la preparación del sitio de la planta, que consiste en los trabajos de terracerías, preparación de las plataformas de las diferentes áreas de proceso, la perforación de pozos profundos, instalación de bombas, trazo y preparación de los caminos de acceso y calles interiores hasta la base y riego de impregnación, dejando pendiente la carpeta asfáltica que se aplicará más adelante; tendido de la cerca perimetral, caseta de vigilancia y báscula de recepción de camiones, los edificios temporales: almacenes cubiertos y patios de almacén, oficinas de personal supervisor, baños y comedores; instalación de la subestación eléctrica para construcción y tendido de la postería y alimentadores en 440 - V, alambrado exterior, distribución de agua, preparación de canales de desague de aguas pluviales, etc.
- En la etapa de Ingeniería de detalle se llevó a cabo las contrataciones de las construcciones de edificios, cimentaciones de maquinaria, fabricaciones de estructuras metálicas, etc. - Ahora en esta etapa se lleva a cabo la construcción de edificios de proceso y servicio de acuerdo a las prioridades establecidas, como son: subestación eléctrica principal, bases de horno, edificio de precalentador, casa del hornero y COP, silos de homogenización, de cemento, tolvas de alimentación y edificio de molino de materias primas, molino de cemento, cuartos eléctricos de cada área, edificios de servicios, tanques de agua, torre de enfriamiento, etc.
- Acondicionamiento de la oficina de campo del personal supervisor que tendrá entre otras funciones:
  - \* Coordinación general de los contratistas. que realizan los trabajos en obra.

- \* Instalar y operar la planta de concreto y agregados, incluyendo laboratorio de pruebas de concreto.
- \* Verificar mediante inspección directa que los trabajos se realicen de acuerdo a planos y especificaciones.
- \* Aclarar dudas de los contratistas en la interpretación de planos, especificaciones, cláusulas contractuales.
- \* Coordinación con los contratistas en la elaboración de los programas detallados de construcción de cada edificio, montaje de maquinaria, instalación eléctrica, etc.
- \* Recepción en almacén de obra, los equipos, maquinaria y materiales. Inspección para detectar los daños que hayan sufrido durante el transporte y descarga, reportes al Seguro en caso de daño. Almacenamiento ordenado en patios y almacenes.
- \* Verificación de los avances de trabajo realizados por los contratistas, aprobación de los números generadores y facturas de estimación, para su pago.
- \* Ordenar por escrito las modificaciones y trabajos extras que surjan durante la construcción.
- \* Elaboración del reporte mensual de obra, pormenorizando los conceptos relevantes.
- \* Expedición permanente de planos y otra información sobre equipos, materiales faltantes en obra y que puede ocasionar retrasos no recuperables.
- \* Verificación de los trabajos terminados, elaboración de las actas de recepción y aprobación de pagos de retenidos contractuales.
- \* Programación del arribo de los especialistas del fabricante para la operación en vacío de los equipos.



- \* Programación, simulación de operación de los controles programables hasta su operación satisfactoria.
- \* Coordinación con el personal de operación, contratistas y fabricantes para la operación en vacío y con material (carga).
- \* Mantenimiento de los equipos hasta que la operación y producción se estabilice.
- \* Inspección final previa a pruebas iniciales de los equipos, que incluye:
  - Verificación de alineación de maquinaria y motor, grout aplicado. Se revisan las hojas de alineaciones, si existiera duda se revisa la alineación axial y radial.
  - Se verifican las partes de las máquinas, instrumentos, válvulas de seguridad, etc. no presenten daño alguno, rotura de piezas o faltantes.
  - Verificar que la tornillería sea la adecuada en material, longitud, y esté correctamente apretada. Se revisan los aprietes con torquímetros de la capacidad requerida o con percusión (martillo) cuando el apriete no es calibrado.
  - Verificar que las conexiones, polaridad, rotación de los motores sea correcta.
  - Revisar mediante simulaciones que los sistemas de control automático, alarmas, interlocks, luces de señales, operen correctamente siguiendo la secuencia especificada en los manuales y procedimientos de operación.
  - Revisar que en las juntas soldadas de los tanques de almacenamiento de gran capacidad se hayan efectuado las pruebas de gammagrafía e hidrostáticas.
  - Verificar que se aplicó el lubricante adecuado y que los niveles de aceite son los correctos.

\*Se llenarán listas de trabajos por realizar (punch list), cuya ejecución será comprobada por los supervisores asignados y cancelados de las listas respectivas.

#### PRUEBAS MECANICAS DE FUNCIONAMIENTO.

Una vez terminados los detalles y lubricado los equipos serán sometidos a una serie de pruebas de funcionamiento, con objeto de determinar fallas, y hacer los ajustes correspondientes. Se inicia con las pruebas en vacío en las que cada equipo se opera primeramente en períodos cortos y se hacen las correcciones y ajustes necesarios. Posteriormente se operan en forma continua por períodos de varios días (verificando vibraciones, temperaturas de chumaceras, rozamientos, etc.), para continuar con las pruebas de conjunto, en las que cada equipo y dispositivos de control pertenecientes al conjunto en prueba debe arrancar, parar, de acuerdo a la secuencia programada. Las alarmas y otras señales deberán operar correctamente al ocurrir alguna falla en la operación.

Simultáneamente con lo anterior se hacen los preparativos para poner a punto los equipos principales. El horno de clinker se somete a las pruebas de funcionamiento de los equipos periféricos y posteriormente se realiza el secado de refractario, para luego alimentarlo gradualmente con harina cruda. Lo mismo ocurre con silo y transporte de clinker, molino de cemento, etc.

## ELABORACION DE LA OFERTA Y ADJUDICACION DE CONTRATOS.

Vimos que en la fase de ingeniería de detalle, se convoca a concurso de los diferentes trabajos de construcción. El dueño suministra los documentos e información necesaria para que se cotice la obra.

Los concursantes, contratistas reconocidos por el dueño o propietario del proyecto son empresas especializadas en construcciones industriales, que realizan un volumen considerable de obra al año, cuentan con una organización básica flexible, logran los contratos debido a su capacidad de producción disponible comprobada, su solvencia económica y moral, experiencia, prestigio, pero sobre todo por la estrategia aplicada, acompañada de un seguimiento dinámico iniciado anteriormente a la invitación de concurso, y a la capacidad de negociación.

## PREPARACION DE LA OFERTA DE CONSTRUCCION.

Generalmente un ciclo de construcción se inicia con la invitación a concurso, recepción de los planos, especificaciones, condiciones especiales y otros documentos que describen los trabajos y algunas condiciones de orden que desea el dueño llevar a cabo.

Generalmente el director o gerente de la empresa constructora ha designado a un gerente de construcción (GC), persona encargada de hacer el seguimiento desde su etapa preliminar (desde que se enteró de los planes de expansión del dueño, muchos meses atrás a la fecha de concurso), es el responsable de obtener la información, elaborar la oferta, negociar y obtener el contrato, implementar, coordinar y controlar los trabajos de construcción y obtener el acta de recepción y liquidación de retenidos y trabajos adicionales al contrato. Para ésto, se coordinará con el personal de presupuestos con objeto de que le asignen personal para realizar la cuantificación de obra, con el departamento de compras para que solicite cotizaciones de los materiales de instalación permanente que serán suministrados por él. Se coordinará también con el personal encargado de los equipos de construcción para determinar la disponibilidad, estado que guarda y

reparaciones que requiere el equipo mayor como grúas, camiones, plataformas, etc. Es el responsable de visitar el sitio de la obra, determinar las condiciones propias de área de la futura planta, como son, localización de los patios de almacenamiento, condiciones de las calles exteriores, condiciones climatológicas (lluvias, temperaturas extremas en la o las épocas del año en que se desarrollarán los trabajos, estado que guarda la obra civil en edificios, bases de equipos, drenaje pluvial, revisar los almacenes para determinar si los equipos se encuentran en obra, grado de organización de los almacenes, tipo y cantidad de supervisores de campo por parte del dueño. Es el responsable de estudiar y ver los planos y especificaciones para determinar los tipos de trabajo, especialidades y predeterminar los métodos constructivos que serán aplicados, la maquinaria de construcción mayor que se requiera o la maquinaria especial que deberá rentarse; esta ojeada al proyecto es decisiva, determina la factibilidad de realización, es decir, si llevarla a cabo o no, ya sea porque la capacidad de la constructora está saturada, indisponibilidad de maquinaria de construcción o se carece del grupo de supervisión y administración necesario, o bien por las condiciones de financiamiento exigidas (obras del gobierno), etc.

Una vez que se decide seguir adelante el G.C. separa y distribuye a los estimadores los planos, especificaciones y las recomendaciones que desea se sigan, como los procedimientos y maquinaria mayor que pueden utilizar, etc. Envía a cotizar a talleres especializados los planos de fabricación de ductos y estructuras, a subcontratistas especializados aquellas partidas como instalación de refractario, aislamiento térmico en tuberías y ductos, pinturas, etc.

Una vez distribuída la información, verifica con cada responsable si las instrucciones han sido correctamente interpretadas, y aclara todas las dudas que pudieran surgir y a su vez solicita al dueño las aclaraciones correspondientes.

El procedimiento que generalmente aplican los estimadores es el siguiente:

1. Estudio general de planos y especificaciones, para determinar como está dividida la información, de qué sistemas y partes consta, cómo clasificar las partidas, y obtener la información para tener una idea de cómo se realizarán en obra los trabajos. Se separa la información que contiene conceptos considerados como normales, esto es: sistemas de tuberías, tendido de charolas, cableado, etc., y los no comunes como los montajes de maquinaria y equipo.
2. Para los trabajos normales de instalación de tuberías, fabricación de soportes, etc., se cuantifican longitudes por clase de material y cédula soldable y roscadas, se obtienen las longitudes, cantidades de conexiones de cada tipo y se aplican los factores estándar de producción.
3. Para los trabajos no comunes como la instalación de un generador de vapor de gran capacidad, un horno de clinker, o bien, molinos de materia prima o de cemento, el encargado de estimar el monto de la instalación debe determinar el procedimiento constructivo o sea, cómo realizar el trabajo, qué equipos de construcción, qué personal especializado utilizar y el tiempo requerido. Una vez calculadas las horas hombre y tiempo máquina, pasa al gerente los resúmenes y los desgloses respectivos.
4. Calculada la fuerza de trabajo, horas hombre, tiempos máquina para los trabajos normales y no comunes, el gerente de construcción analiza y compara los factores de productividad (horas hombre por unidad: ton de maquinaria instalada, metros de tubería instalada, etc.) estimados contra los factores obtenidos en otros montajes anteriores, ajustados a las condiciones de la zona de trabajo y a la disponibilidad de mano de obra productiva, supervisión y equipo requeridos.
5. Programa resumen de construcción.  
Se elabora un programa de redes, respetando prioridades, secuencias, duraciones y hombres estimados en las partidas y -

actividades en que se divide el alcance de trabajos. Se obtiene la fuerza de trabajo por período (semanal) y se balancea de manera de evitar reducciones e incrementos drásticos de personal.

6. Supervisión de Obra.

Se elabora un organigrama, teniendo en cuenta a la supervisión necesaria que se determina de acuerdo al tamaño de la obra, división de áreas, localización física y distancia entre ellas, cantidad de obreros y grado de dificultad de los trabajos.

Se elabora un organigrama con división de trabajo por especialidades y el tiempo estimado de acuerdo al diagrama de redes del punto anterior.

7. Tabulador de Salarios y Beneficios Sociales.

De los estudios de la zona donde se construirá la nueva planta, se obtuvo el salario mínimo de la región, los tabuladores de construcción vigentes, disponibilidad de la mano de obra especializada.

Se fija la percepción diaria por categoría, el viático para personal foráneo y alguna otra percepción adicional para atraer al personal, sobre todo en aquellas regiones de clima extremo y poco atractivo. Por otro lado considerando los días de descanso festivos de ley, las prestaciones y beneficios sociales, se determina el costo directo por hora hombre.

8. Indirectos de Obra.

Los indirectos de obra o indirectos de campo están integrados por las siguientes partidas: sueldos, viáticos y prestaciones sociales del personal de supervisión y administrativo requerido en la obra (cuyo valor se determina de acuerdo al tabulador y al período de residencia de cada supervisor y personal administrativo), los gastos de construcción y remoción de las construcciones temporales (oficinas y almacenes de campo), renta de oficina local, los tamaños y estilos se determinan -

de acuerdo a los estándares y costos por metro cuadrado de cada contratista, los gastos de teléfono, agua, luz y gas (su valor se estima como un por ciento de los costos directos de supervisión y administración), papelería y artículos de escritorio. También se consideran como indirectos los materiales consumibles como son: los gases (oxígeno, acetileno, gas licuado, argón y otros), soldadura normal utilizada en los trabajos normales de pailería, pintura anticorrosiva para resanes en ductos y estructuras, estopa y guantes; se consideran como herramienta de consumo las seguetas, cinceles, martillos, pinzas, desarmadores, etc. Generalmente el contratista estima estos costos como un por ciento del costo total de la mano de obra productiva.

9. Renta de Maquinaria y equipo de construcción.

El importe de la renta de equipos y maquinaria propiedad de terceros, se carga a indirectos de obra y la renta de equipos propios se maneja como indirectos de oficina central y su valor se calcula directamente, aplicando los factores de renta mensual asignados por el contratista a cada equipo principal multiplicado por el tiempo que se estima en obra. Este cargo incluye el costo de la mano de obra y refacciones requeridas para el mantenimiento propio de los equipos, no incluye el costo de consumo de combustibles y lubricantes, operadores, fletes de traslado, maniobras de carga y descarga, los cuales deben ser estimados aparte.

10. Indirectos de oficina central y utilidad del Contratista.

El contratista generalmente aplica un porcentaje de sus gastos fijos (sueldo de funcionarios, renta de oficina, gastos de representación y desarrollo, etc.) de manera que cada obra contribuya a financiar los gastos de operación de la oficina central, dentro de este cargo la oficina central presta a la obra sin cargo adicional la procuración de todo el personal técnico supervisor, administrativo y personal productivo requerido en obra, incluyendo también la procuración de los mate

riales que envíe a obra; no está incluido los pasajes de traslado de personal y locales, fletes, que estos deben ser cubiertos por la obra, que generalmente se aplican a los cargos directos de cada concepto, tanto el cargo de indirectos de oficina central y la utilidad se calcula sobre la base del costo directo de obra que no incluye renta de equipo propio.

Generalmente los indirectos de oficina central y la utilidad los asigna el director de la empresa y el valor del porcentaje depende del tamaño de la construcción (volumen de venta anual promedio) y de la capacidad contratada, al pronóstico de ventas y a las condiciones del entorno económico.

#### 11. Integración del Presupuesto.

El gerente de construcción desde que se distribuyó la información al personal encargado de presupuestos, los listados de materiales por suministrar al personal de compras, la información a los talleres de pailería de las partes por fabricar, ha estado pendiente del progreso de los trabajos de cuantificación de los volúmenes de obra, estimación de la fuerza de trabajo requerida, elaboración del programa de obra, etc., aclarando dudas. Además por su experiencia generalmente realiza el estimado del montaje de aquellos equipos de montaje complicado, o bien solicita a personal de mayor experiencia que determine los rendimientos unitarios de algunas partidas especiales de las que no se cuenta con ellas.

Recibe las estimaciones y las notas aclaratorias (consideraciones descritas por el estimador, en las cuales se basó para hacer su evaluación) de manos del encargado de estimación, según vayan terminando, revisa procedimientos, verifica algunas operaciones o cantidades de obra; una vez revisada se asienta en la tabla resumen que presenta las partidas y subpartidas del alcance del trabajo, el valor de las horas hombre, el costo directo unitario y total de costos, renta de maquinaria de construcción, los indirectos de obra. También revisa y aclara las demás consideraciones, algunas veces cuando no



son aplicables o incorrectas, se regresa al estimador para que modifique las consideraciones y las horas hombre, maquinaria utilizada de los conceptos modificados.

## 12. Exclusiones.

Dentro de las consideraciones (notas aclaratorias), se indican aquellas partidas o trabajos que pueden aparecer en planos o especificaciones y no están claramente definidos. Sin embargo, es conveniente dejar establecido que todas las dudas o aclaraciones deben hacerse oportunamente por los medios previamente establecidos con el dueño, de manera que todos los participantes hagan su evaluación sobre los mismos conceptos. Los propietarios o dueños del proyecto desean que los contratistas consideren todas las partidas y no existan exclusiones; generalmente los contratistas excluyen aquellas partidas que no es posible cuantificar, en ese caso es aconsejable que el dueño establezca volúmenes base en esas partidas e informe a los concursantes para que coticen sobre los mismos volúmenes y especificaciones.

## 13. Elaboración de la oferta.

Una vez que los borradores fueron revisados, asignados los indirectos generales, corregidas y ajustadas las partidas y se cuenta con la aprobación de la Dirección, se elabora la carta oferta que incluye entre otros conceptos:

### 1. Carta Oferta.

- 1.1 Antecedentes.
- 1.2 Información recibida base de cotización.
- 1.3 Alcance e importes.
- 1.4 Descripción de suministros por el contratista.
- 1.5 Descripción de suministros por el dueño.
- 1.6 Consideraciones de la oferta.
- 1.7 Tiempo de ejecución.
- 1.8 Forma de pago.
- 1.9 Exclusiones al alcance de trabajos.
- 1.10 Validez de la oferta.

## 2. Anexos.

- 2.1 Desglose de trabajos
- 2.2 Lista de planos y documentos recibidos.
- 2.3 Programa condensado de obra.
- 2.4 Programa de recursos humanos.
- 2.5 Programa de equipo de construcción requerido.
- 2.6 Calendario de pagos.
- 2.7 Tabuladores.
  - a) Precios unitarios de conceptos varios.
  - b) Personal para pruebas y arranques.
  - c) Renta de maquinaria y equipo de construcción.

Terminada, revisada y firmada la oferta, el gerente de construcción entrega al responsable del dueño la oferta con los planos y documentos de concurso. Se acostumbra que el gerente de construcción a la entrega de la oferta la lea junto con el dueño y explique cada concepto, de manera que se aclare plenamente la intención del contenido.

## 14. Adjudicación de Contrato.

El personal responsable del dueño, revisa y aclara dudas con cada contratista hasta unificar el alcance de trabajos, determinar la capacidad comprometida del contratista, evaluar el cuadro del personal supervisor ofrecido, procedimiento de montaje, tiempo máquina, horas hombre estimadas. Conforme se van aclarando dudas en el alcance algunos contratos pueden quedar eliminados por no satisfacer ciertas condiciones y otros mejorar o reafirmar su posición. Cuando dos contratistas están en condiciones muy similares, generalmente se asigna el contrato a aquél que presenta el mejor cuadro de personal supervisor, tiempo máquina, programa de actividades y recursos humanos más realista.

Una vez seleccionado el contratista, se le avisa telefónicamente al gerente de construcción que debe iniciar la movilización de inmediato, que dispone de 10 días calendario para iniciar

los trabajos preliminares en la obra y que al día siguiente puede pasar a recoger la carta de intención para que tramite las fianzas de anticipo, así también los seguros de responsabilidad civil contra daños a terceros.

#### 15. Movilización.

El aviso telefónico del propietario ha sido la señal para poner en estado de alerta a la empresa constructora seleccionada, desencadenando una gran actividad en todos niveles y departamentos de la organización.

El gerente de construcción en junta con el director y el superintendente preseleccionado, informa de inmediato al director de la adjudicación del contrato y describe brevemente el proyecto y algunas cláusulas de contrato que a criterio del gerente de construcción deben ser revisadas y aceptadas por el departamento legal, así como los puntos inmediatos a resolver, como son: obtener las fianzas de anticipo, asignación formal del superintendente y demás supervisores y personal administrativo que integrará el cuadro organizacional propuesto al propietario.

Desde el momento de la asignación el superintendente es el responsable de la movilización, planificación, arranque de los trabajos en obra, y trato con el personal del cliente. El director de la compañía contratista delega toda responsabilidad de obra en el superintendente; el gerente de construcción entrega la información disponible y lo asesora con objeto de acelerar el proceso de inducción, obtiene la autorización para negociar y contratar al personal supervisor no de planta, colocar los pedidos de los materiales de instalación permanente, equipos y herramientas, con el propósito de que los proveedores respeten los precios, ordenar la reparación de la maquinaria que se encuentre en mal estado.

El superintendente es la autoridad máxima de la organización en obra, dispone de amplios poderes para representar a la em

presa constructora ante el propietario y ante las autoridades y dependencias oficiales. Es el responsable de planificar, coordinar, implementar y controlar los trabajos del alcance de obra y los adicionales relacionados, que serán realizados de acuerdo a planos y especificaciones y que estén dentro de calidad, tiempo y costos establecidos.

En la etapa inicial de movilización e inicio de obra obtiene la información completa, estudia los planos, especificaciones, condiciones generales, carta invitación, borrador de contrato y cualquier otra información disponible, para darse una idea general del proyecto y detectar cualquier partida que represente algún costo, especialmente aquellas indicadas en las cláusulas de contrato o en las condiciones generales o particulares. Es imprescindible que el superintendente efectúe una visita al sitio de obra, para verificar los datos obtenidos en la etapa de elaboración del presupuesto. Algún pequeño detalle pasado por alto puede ser detectado y evaluado, como puede ser las condiciones de transportación del personal obrero de zona urbana a planta, que por alguna condición especial es manejado por el sindicato local con un sobrecosto no detectado.

Distribuye planos y especificaciones con las aclaraciones e instrucciones correspondientes a los residentes de área y sobrestantes con que cuenta en ese momento para llevar a cabo la cuantificación de algunos materiales y determinar en forma independiente del presupuesto los alcances, cantidades de obra, recursos humanos y materiales necesarios, los indirectos de obra. Esta planificación es la forma de comprobar si los métodos constructivos, rendimientos del personal y de máquina e indirectos de obra fueron correctos. Es común que exista alguna variación en más o en menos, debido a algún cambio ocurrido en el período de revisión y negociación de la oferta, o bien que alguna máquina de construcción no esté disponible oportunamente, o también suele haber alguna modificación en los planos y es necesario considerar como adición al

alcance inicial o que hayan sido subvaluadas algunas partidas.

El superintendente pasa al departamento de reclutamiento el tabulador y calendario preliminar de las necesidades de personal obrero por especialidad, con las fechas en que deben presentarse en obra. Conforme el personal de supervisión avanza en el estudio de planos y en la planificación de obra, se confirman los envíos a obra de la maquinaria, equipos y herramienta. Se elaboran los programas de construcción de cada área con la cantidad de obreros especializados y no especializados requeridos en cada una de las áreas, con las gráficas correspondientes. Terminada la planificación se evalúa los costos de cada partida y se comparan con los determinados en la oferta, tanto en especie como en costo, se revisan y corrigen las diferencias.

Se elabora la planeación financiera de la obra en el programa presupuestario, que es el documento que relaciona por períodos los ingresos que se esperan generar con los egresos estimados. Los documentos generados en la planificación son los siguientes:

1. Programa presupuestario de obra.
2. Programa detallado de construcción.
3. Calendario de necesidades de personal por especialidades.
4. Calendario de envío de maquinaria, equipos y herramientas de construcción.

En el siguiente capítulo se elabora un estimado de costo, siguiendo el procedimiento descrito para el montaje de un horno de 3200 tmpd. con precalentador doble flujo de 4 etapas con precalcinador.

CAPITULO 8

## 8.- ELABORACION DE UN PRESUPUESTO PARA EL MONTAJE MECANICO DE UN HORNO DE CLINKER CON CAPACIDAD DE 3200 TMPD.

8.1. A continuación se describen los trabajos solicitados para el montaje del horno con precalentador.

### 8.1.1 PRECALENTADOR.

Ensamble y montaje de un precalentador de cuatro etapas, -  
doble flujo con precalcificador, incluyendo: A) Ductos ascen-  
dentes, B) Tubos de harina, C) Tubería de aire para limpieza  
D) Escaleras de acceso, plataformas de inspección, baranda-  
les (fabricación y montaje), E) Pintura de minio con limpie-  
za de metal blanco con chorro de arena en ducto de gases, -  
F) Pintura anticorrosiva y de acabado en escaleras, platafor-  
mas y soportes de ductos, G) Limpieza de área. Los pesos de  
los equipos se indican en hoja anexa y en planos.

### 8.1.2 HORNO DE CLINKER.

Ensamble y montaje de un horno de clinker con accesorios, -  
que incluye:

- A) Cuerpo tubular del horno formado por virolas metálicas -  
(segmentos cilíndricos) de espesores y pesos descritos en  
hoja adjunta, uniones soldadas 100% gammagrafiadas, inclu-  
yendo tres llantas con los blocks de ajuste respectivos.
- B) Tres bases metálicas provistas de placas base y dos rodi-  
llos metálicos por base, incluyendo aplicación de grout.
- C) Sistema motriz constituido por motor principal, flecha,  
contraflecha, corona y protección, incluyendo unidad de -  
giro lento, así como placa base y aplicación de grout.
- D) Unidad de emergencia, integrado por un quemador, motor  
diesel, sistema de combustible, tablero de control, duc-  
tos de aire de admisión y escape de gases.

- E) Sistemas de lubricación y enfriamiento, integrado por bombas, motores, tuberías y accesorios.
- F) Sistema de Quemado.  
Integrado por carátula del quemador, quemador, rieles y mecanismos de traslación del quemador, ventiladores de aire primario y ducto, estaciones de regulación de combustóleo con vapor.
- G) Fabricación y montaje de escaleras, plataformas y pasillos de inspección.
- H) Aplicación de pintura anticorrosiva y de acabado en la estructura.

#### 8.1.3 REFRACTARIO.

Instalación del ladrillo refractario, incluyendo la fabricación e instalación de los anillos y herrajes de sujeción para precalentador.

#### 8.1.4 SUMINISTRO.

El propietario suministrará los equipos, materiales para fabricación de ductos y estructuras, refractario, lubricantes, soldadura del horno, energía eléctrica a 440 y 220 Volts y agua.

El contratista suministrará la mano de obra, supervisión, la maquinaria, equipo y herramienta manual en cantidad requerida, los materiales consumibles incluyendo la soldadura para las uniones de los ciclones, ductos, tuberías y estructura.

#### 8.1.5 PERIODO DE MONTAJE.

Se debe considerar un período de montaje no mayor de 20 semanas a partir de la fecha de firma de contrato.



### 8.1.6 Presentación de la Oferta.

La oferta se presenta a precio alzado desglosada, en partidas indicando cantidad, precio unitario y valores totales de cada partida.

### 8.2 Estimación del Costo de Montaje.

El estimado de costo se ha elaborado utilizando una microcomputadora Macintosh Plus e impresor Image Writer de Apple Co. y programa (software) Excel de Microsoft.

Microsoft Excel es un programa integrado que consta de hoja de cálculo electrónico, gráficas y base de datos, diseñado para operar en la microcomputadora Macintosh de Apple. Esta combinación constituye una herramienta poderosa para muchos trabajos de ingeniería y negocios, pero principalmente para los de presentación tabular como la planeación financiera, que permite fácilmente hacer variaciones en cualquier partida de los ingresos o de los egresos, y analizar su repercusión ya sea en el capital de trabajo requerido, utilidad de la empresa contratista. Es posible definir con anticipación las remesas requeridas considerando las listas de raya, nómina y pago a proveedores para la semana en curso y para las próximas restantes.

El estimado de costo se ha elaborado tomando en cuenta las características de tamaño y pesos de los elementos de cada equipo, estimando cada partida el tiempo y cuadrilla requerida para llevar a cabo las tareas; los rendimientos y necesidades de equipos se determinaron de acuerdo a criterios y experiencias propias, indicados en los siguientes documentos localizados en el apéndice D.

1. Matriz de Montaje (Tabla 1)
2. Diagrama de actividades (Fig. 1)

3. Resumen estimado de costo (Tabla 2).
4. Costo de Mano de Obra (Tabla 3).
5. Costo de Supervisión de Obra (Tabla 4)
6. Renta de maquinaria construcción (Tabla 5)
7. Tabulador de salarios (Tabla 6)
8. Programa presupuestal (Tabla 7)
9. Fórmula de escalación (Tabla 8)
10. Gráfica de ingresos-egresos (Fig. 2)
11. Organigrama de obra (Fig. 3)
12. Gráfica de avance (Fig. 4)

#### 8.2.1 Procedimiento de Montaje. Personal y maquinaria de construcción requerida.

##### A) Matriz de Montaje (Tabla 1).

La evaluación económica se inicia estudiando los planos y características de los equipos, grado de ensamble, tipo de ensamble, peso, altura de montaje. Una vez que la persona que planifica se compenetrado con lo que hay que hacer, distancias, alturas y pesos que transportar, método de ensamble a seguir, y la maquinaria de construcción a utilizar, se determina individualmente en cada actividad la cuadrilla y el personal por especialidad que la integra y el período necesario para efectuar el trabajo.

La mayoría de las actividades de construcción tienen aproximadamente un 85% de manejo de materiales, divididos en carga y descarga, traslado, izaje, ensamble y colocación, y el 15% restante en efectuar las uniones, ajustes y alineaciones. En la forma matriz de montaje se integran las características propias del equipo (peso, número de piezas, dimensiones, nivel de montaje) y la fuerza de trabajo necesaria - horas-hombre, para realizar las actividades de montaje, como

son: carga, descarga, arrastre e izajes, preensamble, ensamble y soldadura, alineación, radiografías, pruebas de construcción, la maquinaria de construcción requerida para realizar las maniobras. Se determinan los rendimientos individuales por actividad y de conjunto.

B) Diagrama de Actividades (Fig. 1)

Sobre una hoja electrónica se traza el formato de un diagrama de barras con períodos semanales y sobre este diagrama se delinea la red de actividades, respetando el orden o secuencia de realización, duración y los hombres necesarios para efectuarlas, aprovechando las propiedades de cálculo de la hoja electrónica. En la columna de recursos humanos se determinan las semanas de realización, los hombres semana, las horas hombre y el porcentaje de participación con respecto al total. En el sentido vertical se determinan los hombres semana por período semanal, el acumulado y el porcentaje con respecto al total de la fuerza de trabajo estimado.

C) Resumen Estimado de Costos (Tabla 2).

En la tabla resumen de costos, se presentan las partidas que intervienen en el alcance de trabajos con los totales correspondientes de mano de obra, materiales, indirectos de obra, etc. y los desgloses de estas partidas se muestran en la Tabla 2, Costo de mano de obra, Tabla 3, Costo de Supervisión, en la cual se calcula el valor de sueldos del personal supervisor, administrativo, mostrado en el organigrama de Supervisión y Administración (Fig. 3), Renta de maquinaria (Tabla 5), Tabulador de sueldos y salarios y Cálculo de los factores de las prestaciones sociales (Tabla 6). Todas estas tablas se trazaron sobre hojas electrónicas previamente formateadas.

8.3 Programa Presupuestal. (Tabla 7)

El programa presupuestal es el documento que integra los planes para ejecutar la obra desde el punto de vista financiero, determina la necesidad y disponibilidad de fondos, para que el Contratista realice los trabajos sin contratiempos económicos.

Los contratistas generalmente proyectan el programa presupuestal de manera que la obra sea autofinanciable, sin recurrir a fuentes externas de financiamiento, sin embargo, es indispensable - conocerlo con anticipación para hacer una correcta distribución de los fondos. Lo ideal sería que los flujos de ingresos y egresos se sincronizaran y fueran de magnitud adecuada que no exista déficit. Sin embargo, esto no ocurre en la realidad, por lo que el Contratista tiene que estar alerta y contar con fondos suficientes.

El contratista conoce la magnitud de los gastos que incurrirá, así como los ingresos esperados por avance de obra en cada período a lo largo de la ejecución de la obra, por lo que es sencillo hacer la planeación financiera. El objetivo de toda empresa es el de balancear los gastos con los fondos disponibles. A nivel global de la empresa, el flujo de fondos es más complicado y - sobre todo para aquellas constructoras de mayor volúmenes de obra, que manejan varios contratos con diferentes condiciones y períodos de pago, distribuidos en diferentes partes de la República y en el extranjero. Para estas empresas es de importancia capital contar con una planeación financiera efectiva que indique con bastante precisión el valor de los flujos de fondos, la procedencia, fecha en que se esperan recibir, así también las - líneas de crédito bancario disponibles y otros valores realizables sólo en casos de extrema urgencia.

Como egresos tenemos las remesas semanales que requieren las - obras, pagos a proveedores, liquidaciones al IMSS, Hacienda, Tesorería del Estado, INFONAVIT, etc. Todo esto debe estar bajo control y actualizado periódicamente.

Por otro lado, el dueño de la obra se enfrenta con otro problema similar, tiene que satisfacer las necesidades financieras en - cada período para cumplir con los compromisos de pago por avance de obra de cada contratista, proveedores de materiales, y otros. El propietario prepara en las diferentes fases del proyecto el - flujo de efectivo y en la fase de construcción los valores de -

contrato reemplazan a los valores estimados y estos a su vez son actualizados periódicamente, de acuerdo a las proyecciones de los contratistas, manteniendo las reservas suficientes para responder a cualquier eventualidad que se presente.

Es práctica usual en México que las obras contratadas por la iniciativa privada se otorguen anticipos cuyo monto es variable y depende del tipo de contrato, si hay o no suministros de materiales, del tamaño, características de los trabajos contratados, y períodos de pagos mensuales. Sin embargo, dadas las condiciones actuales y al valor del dinero, se ha recortado a períodos quincenales en contratos a precio alzado. En los contratos por administración la reposición de fondo revolvente es semanal para cubrir listas de raya y nóminas, proveedores y gastos directos de obra, los pagos indirectos como renta de equipo, utilidad de contratista el período es mensual.

En la tabla 7 se presenta programa presupuestal en el que se ha considerado: A) Un período de 3 semanas de movilización y 20 semanas de ejecución de los trabajos y una semana adicional para la liquidación. (generalmente este período es mayor), B) Balance que agrupa a los valores brutos de estimación en cada período, las deducciones correspondientes, otros ingresos y los saldos que son los fondos disponibles para el mismo período, C) Los egresos divididos en mano de obra, supervisión y administración, viáticos, los beneficios sociales, materiales, herramientas, fletes, obras temporales, rentas a terceros, y finalmente D) Los indirectos generales de empresa constructora.

Los períodos de presentación de las estimaciones son quincenales y una semana para cubrir el pago. Se considera un anticipo del 15%, el manejo de fondos será local con envío de remesas a oficina central para cubrir los indirectos, condicionado el envío después de cubrir los gastos locales urgentes, como sueldos y salarios, pago a proveedores locales, o sea respetando las condiciones indicadas por el dueño (ideales desde el punto de vista de obra).

Algunas empresas contratistas utilizan aparte de las instituciones de crédito, como fuente importante de financiamiento a los proveedores de materiales, y aquellos que carecen de planeación financiera es común que pierdan el control y no liquiden oportunamente a sus proveedores, con la consecuente pérdida de crédito e imagen, y recurren en la mayoría de los casos en forma involuntaria a financiamientos tan caros como son, el pago con recargos por pago extemporáneo de cuotas obrero patronales al IMSS, los impuestos propios y retenidos a los trabajadores a Hacienda, y las cuotas al INFONAVIT.

#### 8.4 CONTROL DE OBRA.

En la tabla 9 se presenta un modelo de programa para controlar los trabajos de montaje del horno con el propósito de mostrar el poder y flexibilidad de la hoja de cálculo aplicado al control de las actividades de construcción.

Este programa es del tipo de barras. Se aplica el principio de administración por objetivos y se basa en la propiedad de que: Todas las actividades pueden ser medidas por el tiempo que requieren para su realización, de manera que el espacio que representa la unidad de tiempo en la gráfica puede también representar la cantidad de trabajo que debe realizarse en ese tiempo.

Este modelo muestra a las actividades con sus elementos básicos:

- \* Período de ejecución
- \* Avances
- \* Fuerza de trabajo
- \* Período de atraso o adelanto
- \* Pronóstico del período requerido para terminar.
- \* Pronóstico de fuerza de trabajo requerida a terminación.
- \* Rendimiento promedio general.
- \* Rendimiento individual por hombre.

C A P I T U L O 9

## 9. CONCLUSIONES.

### 9.1 Planificación.

La planificación y control de las obras puede considerarse desde el punto de vista del propietario que emprende la obra, o desde el punto de vista de la empresa constructora que la realiza como la base del éxito. A la empresa constructora le interesa que la obra se ejecute a satisfacción del propietario dentro del plazo, costo establecido. Al propietario le interesa que la obra se realice de acuerdo a la calidad, plazo y costo pactado con el mínimo sobrecosto.

Hemos visto en la práctica que en cualquier tipo de proyecto y principalmente los de construcción se caracterizan por el consumo de grandes cantidades de recursos, es imprescindible contar con un sistema de planificación y control adecuado que permita realizar los trabajos de acuerdo a lo planificado.

La planificación sistemática se realiza en 4 etapas.

1. En la etapa de planeación se definen los objetivos del proyecto y las actividades necesarias para llevarlos a cabo, mediante redes de actividades se establece el orden y precedencia de los mismos. Su elaboración obliga al personal responsable a la planificación lógica y sistemática.
2. En la etapa de programación se determinan las duraciones de cada actividad en base a rendimientos y recursos asignados de acuerdo a experiencias anteriores.
3. Establecidos los programas de ejecución, las necesidades de recursos, y determinado las curvas de avance de obra, se complementa con el plan financiero que muestra las necesidades de fondos en cada período y los ingresos esperados.



Una vez planificado y puesto en marcha el plan con los recursos necesarios; durante la ejecución de los trabajos se pone en práctica la función de control, mediante el cual se revisan y comparan los trabajos ejecutados y los recursos aplicados con los correspondientes programados. Esta comparación nos muestra la tendencia de la desviación de la actividad, el rendimiento promedio obtenido y consecuentemente el pronóstico a terminación, que nos permite modificar las causas que la provocan, o bien, establecer planes para recuperar el retraso.

Con el ingreso de la microcomputadora en el campo de la construcción ha facilitado notablemente la planificación y control de las obras; existen en el mercado programas para la elaboración de presupuestos, programas de ruta crítica, elaboración de nóminas, contabilidad general, programas financieros, así también para la resolución de problemas de ingeniería, de diseño, o bien, algunos programas de hoja de cálculo electrónica, como son: VISICALC, LOTUS 1-2-3, EXCEL, etc., pueden adaptarse de acuerdo a las necesidades específicas de cada usuario; una vez establecido por ejemplo el programa financiero se pueden revisar varias situaciones (simulaciones) que pueden ocurrir, por ejemplo, como afecta una variación en el importe de la estimación (ingreso) o variación en el período de pago que se retrasen 1, 2, semanas, o variaciones en los costos, etc.

Como quiera que sea, es imprescindible que las empresas que realicen proyectos, tanto por el lado del propietario, como de la empresa constructora que los realiza, planifique y controle sistemáticamente los trabajos, ya sea manualmente o con auxilio de una computadora para una efectiva y eficiente utilización de los recursos, evitando así sorpresas desagradables en el desarrollo de los mismos.

## BIBLIOGRAFIA

1. Mechanical Engineers' Handbook  
Theodore Baumister, Editor  
Sixth Edition  
Mc Graw Hill Book Company, Inc.  
U.S.A. 1958
2. Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer  
Autor: David A. Moony  
Prentice Hall Inc.  
U.S.A. May 1958 Third Printing
3. Project Engineering of Process Plant  
Autores: Howard F. Rase and M.H. Barrow  
John Wiley and Sons Inc.  
U.S.A. 1957
4. Proyectos de Desarrollo  
Planificación, Implementación y Control  
Volumen I  
Autores: Banco Interamericano de Desarrollo  
Escuela interamericana de administración pública  
Fundación Getulio Vargas.  
Editorial Limusa  
México 1982
5. Management Control Systems  
Autor: Joseph A. Maciariello  
Prentice Hall Inc.  
U.S.A. 1984
6. Cost Control in Design and Construction  
Autores: Sol A. Ward and Thorndike Litchfield  
Mc. Graw Hill Book Company  
U.S.A. 1980
7. Ingeniería de Métodos  
Autor: Edward W. Krick  
Editorial Limusa Wiley S.A.  
México 1967
8. Manual de Presupuestos  
Autores: H.W. Allen Sweeny  
Robert Rachlin  
Editorial Mc Graw Hill  
México 1984

9. Construction Estimating and Job Preplanning  
Autor: George E. Deatherage P.E.  
Mc Graw Hill Book Company  
U.S.A. 1965
10. Introduction to Pert-CPM  
Autores :Baker and Eris  
Richard D. Irwin, Inc.  
U.S.A. 1964
11. Apuntes Seminario de Orientación.  
American Management Association  
Métodos de PERT, CPM, y Planeación de Operaciones aplicadas.
12. Apuntes de Técnicas para Planeación  
La Programación y Control de Actividades Operacionales  
Método del camino crítico.  
Asociación Mexicana de Administración Científica, S.A.  
México, D.F. 1965
13. EXCEL in Business  
Autor: Douglas Cobb  
The Cobb Group  
Microsoft Press  
U.S.A. 1985
14. Control Total de la Calidad  
Autor: Armand V. Feigenbaum  
Editorial Continental, S.A. DE C.V.  
México, Enero de 1986
15. The Rotary Cement Kiln  
Autores: Kurt Peray y Joseph J. Wadell  
Chemical Publishing Company  
New York 1972
16. Apuntes de Seminario de Operación de Hornos  
Holderbank 1984
17. Prontuario del Cemento  
Labhan/Kohlhaas  
Editores Técnicos Asociados, S.A.
18. Cemento  
Fabricación - Propiedades- Aplicaciones  
Autor: Dr. Phil Fritz Keil  
Editores Técnicos Asociados

19. Manual Tecnológico del Cemento  
Autor: Walter H. Duda  
Editores Técnicos Asociados, S.A.

20. Revistas de Hormigón Armado  
diferentes fechas.

A P E N D I C E

APENDICE A  
BALANCE DE MATERIALES

A1. DATOS NECESARIOS

- Base de cálculo  
1 Kg de clinker
- Porcentaje de pérdidas por ignición de la harina cruda (% P.I.H.C.)  
Dato del laboratorio 34.6%
- Porcentaje de humedad de la harina cruda.  
Dato del laboratorio 0.416%
- Porcentaje de polvos regresados al sistema de alimentación.  
Dato empírico 5.94%
- Porcentaje de pérdida de polvos en el sistema.  
Dato empírico 0.06% de la alimentación
- Temperatura de entrada de la harina cruda.  
Medida 60° C
- Porcentaje de polvos que van al colector (% P al colector)  
Dato empírico 6% de la alimentación
- Porcentaje de pérdidas por ignición en el colector de polvos (% P.I.C.)  
Muestra obtenida en el gusano del colector de polvos y analizado en laboratorio. 32.6%
- Porcentaje de titulación de la harina cruda (% T).  
Del laboratorio 75.96%

Además de todos estos datos es necesario que las mediciones sean hechas todas el mismo día y durante un período estable del sistema a analizar.

A2. CALCULOS REALIZADOS.

- HARINA CRUDA NECESARIA PARA PRODUCIR 1 KG. DE CLINKER.

Con la ecuación (5.1) y los datos presentados en A1 podemos calcularlo:

$$F_{h.c} = 1 / ((1 - \% P.I.H.C.) * (1 - \% H) * (1 - \% P.P.))$$

$$F_{h.c} = 1 / ((1 - 0.346) * (1 - 0.00416) * (1 - 0.001))$$

$$\underline{F_{h.c} = 1.54 \text{ KG/KG DE CLINKER}}$$

- CO<sub>2</sub> PRODUCIDO POR LA HARINA CRUDA.

De nuevo se utilizarán datos que se encuentran en A1 y la ecuación (5.2).

$$F_{(CO_2) h.c} = \frac{\%T * 0.44}{(1 - \% P.I.H.C) * 100}$$

$$F_{(CO_2) h.c} = \frac{0.7596 * 0.44}{(1 - 0.346) * 100}$$

$$\underline{F_{(CO_2) h.c} = 0.511 \text{ KG/KG DE CLINKER}}$$

- POLVOS QUE VAN AL COLECTOR

Aquí se utilizará un dato empírico, en realidad estos datos están basados en la experimentación y las mediciones en instalaciones operando. El porcentaje a utilizar es el 6% del total de harina cruda (alimentación).

$$F_{p.c.} = F_{h.c.} * \%P. \text{ al colector}$$

$$F_{p.c.} = 1.54 * 0.06$$

$$\underline{F_{p.c.} = 0.0924 \text{ KG/KG CLINKER}}$$

- POLVOS REGRESADOS AL SISTEMA DEL HORNO ( F p.r.h. ).

$$F_{p.r.h.} = F_{h.c.} * \% P. R. H.$$

$$F_{p.r.h.} = 1.54 * 0.059$$

$$\underline{F_{p.r.h.} = 0.09147 \text{ KG/KG DE CLINKER}}$$

- POLVO PERDIDO ( F p.p. )

Nuevamente se maneja un porcentaje empírico.

$$F_{p.p.} = F_{h.c.} * \% P.P.$$

$$F_{p.p.} = 1.54 * 0.0006$$

$$\underline{F_{p.p.} = 0.00093 \text{ KG/KG DE CLINKER}}$$

- HARINA CRUDA DEL POLVO PERDIDO.

Se utilizarán datos de apéndice A1, la ecuación (5.3) y el cálculo anterior.

$$F_{h.c.p.p.} = \frac{1 - \% P.I.C.}{1 - \% P.I.H.C.} * F_{p.p.}$$

$$= \frac{1 - 0.326}{1 - 0.346} * 0.00093$$

$$\underline{F \text{ h.c.p.p.} = 0.000958 \text{ KG/KG CLINKER}}$$

-  $\text{CO}_2$  DE POLVO PERDIDO ( $F(\text{CO}_2)$  p.p.) utilizando la ecuación (5.4) se tiene que:

$$F(\text{CO}_2) \text{ p.p.} = F \text{ h.c.p.p.} - F \text{ p.p.}$$

$$F(\text{CO}_2) \text{ p.p.} = 0.000958 - 0.00093$$

$$\underline{F(\text{CO}_2) \text{ p.p.} = 0.000028 \text{ KG/KG DE CLINKER}}$$

- CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA HARINA CRUDA ( $F \text{ a.h.c.}$ )

La ecuación (5.5) será la que se utilizará:

$$F \text{ a.h.c.} = F \text{ h.c.} * \% \text{ H}$$

$$F \text{ a.h.c.} = 1.54 * 0.00416$$

$$\underline{F \text{ a.h.c.} = 0.0064 \text{ KG/KG DE CLINKER}}$$

- ALCALIS Y OTROS PRODUCTOS ( $F \text{ c.}$ )

Ecuación (5.6) a utilizar.

$$F \text{ e.} = F \text{ h.c.} - F \text{ cl.} - F(\text{CO}_2) \text{ h.c.}$$

$$= 1.54 - 1 - 0.511$$

$$\underline{F \text{ e.} = 0.029 \text{ KG/KG DE CLINKER}}$$

\*  $F \text{ cl.}$  es la base de cálculo adoptado al inicio del Balance de Materia.



APENDICE B  
BALANCE DE ENERGIA

B.1 DATOS NECESARIOS

- Mínimo aire de combustión para el combustibleo.

$$L_{\min} = 1.414 \text{ KG AIRE/1000 KCAL}$$

- Capacidades térmicas (Cp).

\* NOTA: Las temperaturas deben ser substituídas en °C.

Capacidades térmicas para sólidos

$$C_p \text{ cl} = 0.186 T + 67 \times 10^{-6} T^2 \text{ (KCAL/KG)}$$

$$C_p \text{ h.l.} = 0.206 T + 80 \times 10^{-6} T^2 \text{ (KCAL/KG)}$$

Capacidades térmicas para líquidos

$$C_p \text{ agua} = 1.0 T \text{ (KCAL/KG)}$$

$$C_p \text{ co} = 0.42 T \text{ (KCAL/KG) (COMBUSTOLEO)}$$

Capacidades térmicas para gases

$$C_p \text{ aire} = 0.236 T + 25 \times 10^{-6} T^2 \text{ (KCAL/KG)}$$

$$C_p \text{ vapor de agua} = 0.444 T + 65 \times 10^{-6} T^2 + 595 \text{ (KCAL/KG)}$$

$$C_p \text{ O}_2 = 0.218 T + 32 \times 10^{-6} T^2 \text{ (KCAL/KG)}$$

$$C_p \text{ CO}_2 = 0.206 T + 75 \times 10^{-6} T^2 \text{ (KCAL/KG)}$$

$$C_p \text{ N}_2 = 0.245 T + 20 \times 10^{-6} T^2 \text{ (KCAL/KG)}$$

$$C_p \text{ H}_2\text{O} = 0.444 T + 65 \times 10^{-6} T^2 \text{ (KCAL/KG)}$$

- Cálculo del exceso de aire.

$$\% \text{ Exceso de aire} = \frac{21}{21 - 79 \left( \frac{O_2}{100 - O_2 - CO_2} \right)}$$

- Cálculo de un Cp de mezcla.

$$C_p \text{ mezcla} = \frac{\% A_1}{100} C_p A_1 + \frac{\% A_2}{100} C_p A_2 + \frac{\% A_3}{100} C_p A_3 + \dots$$

- Poder calorífico del combustible.

$$P.C. \text{ co} = 9121 \text{ KCAL/KG co}$$

B.2 CALCULOS REALIZADOS PARA LAS ENTRADAS DE ENERGIA

- LA COMBUSTION DEL ENERGETICO UTILIZADO.

Al llevarse a cabo la combustión el energético desprende una cierta cantidad de energía, la cual contabilizaremos como:

$$\underline{X \text{ KCAL/KG CLINKER}}$$

Y este será el factor a encontrar al terminar el Balance de Energía.

- QUEMADO DEL MATERIAL COMBUSTIBLE EN LA ALIMENTACION DEL HORNO.

En este caso se desprejará esta entrada de energía al sistema.

- CALOR PROPORCIONADO COMO CALOR SENSIBLE.

\* Del combustible

En este caso, el combustible se está suministrando a 145° C. Utilizando la ecuación (5.11) y algunos de los datos de B1 tenemos que:

$$Q_3 = \frac{X \text{ Cp co/te}}{\text{P.C. co}}$$

donde:

$$\text{te} = 145 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{P.C. co} = 9121 \text{ KCAL/KG co}$$

$$\text{Cp co} = 0.42 (145)$$

$$= Q_3 = \frac{X (0.42 * 145)}{9121} = 6.68E^{-3} X \frac{\text{KCAL}}{\text{KG CLINKER}}$$

$$Q_3 = 6.68E^{-3} X \frac{\text{KCAL}}{\text{KG CLINKER}}$$

\* El aire necesario para la combustión

Como se mencionó anteriormente el aire de combustión se divide en:

- Primario
- Secundario
- Terciario
- Exceso de aire a la entrada del Enfriador de Clinker

-- Aire Primario --

En este caso se midió con un tubo pitot (\*) la presión dinámica la presión estática y la presión total. Se requiere además - tener la temperatura del aire, los diámetros del ducto de aire primario en el lugar de la medición y la densidad del aire a la temperatura medida.

Datos necesarios

Pd = Presión dinámica = 15 mm H2O = 1.102 mm Hg  
Ps = Presión estática = 555 mm H2O = 40.8 mm Hg  
Pt = Presión total = 570 mm H2O = 41.91 mm Hg  
Ta = Temperatura del ambiente = 34° C  
a = Densidad del aire = 1.293 Kg/m<sup>3</sup>  
do = 0.39 m

- Primero hay que convertir de mm de H2O a mm de Hg de la siguiente forma:

$$\text{mm de Hg} = \frac{\text{mm H2O}}{13.6}$$

$$\dots Pd = \frac{15 \text{ mm H2O}}{13.6} = 1.102 \text{ mm Hg}$$

- Ahora se debe corregir la densidad del aire porque el dato que se tiene es para 0° C y 760 mm de Hg.

La corrección se hará con la siguiente ecuación:

$$\text{corregida} = \text{aire} * \frac{273}{273 + Ta(^{\circ}\text{C})} * \frac{760 + Ps}{760}$$

$$\text{corregida} = 1.293 * \frac{273}{273 + 34} * \frac{760 + 40.8}{760}$$

$$\text{corregida} = 1.215 \text{ Kg/m}^3$$

- El siguiente paso es calcular la velocidad en el ducto.

$$V \text{ ducto} = \frac{(19.6 * Pd \text{ (mm H2O)})^{\frac{1}{2}}}{\text{corregida}}$$

$$V \text{ ducto} = \frac{(19.6 * 15)^{\frac{1}{2}}}{1.215}$$

$$V \text{ ducto} = 15.55 \text{ m/seg.}$$

- Encontrar el área del ducto.

$$\text{Area del ducto} = \frac{\pi \text{ do}^2}{4}$$

$$\text{Area del ducto} = \frac{(3.1416) (0.39)^2}{4}$$

$$\text{Area del ducto} = 0.1195 \text{ m}^2$$

- Obtener el flujo másico a través del ducto.

$$W_a = V \text{ ducto} * \text{Area del ducto} * \text{densidad corregida (Kg/seg)}$$

$$W_a = (15.55 \text{ m/seg}) * (0.1195 \text{ m}^2) * (1.215 \text{ Kg/m}^3)$$

$$W_a = 2.25 \text{ Kg aire/seg}$$

$$W_a = \frac{2.25 \text{ Kg aire}}{\text{seg}} * \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ hr}}$$

$$W_a = 8127.79 \text{ Kg aire/hora}$$

- Conociendo la producción de clinker se pueden tener los kg. de aire/ kg de clinker:

$$W_a = 8127.79 \text{ Kg aire/hr}$$

$$W_{h.c.} = 143 \text{ 000 Kg h.c./hr}$$

$$8127.79 \text{ Kg aire/hr} \text{ ---- } 143 \text{ 000 Kg h.c./hr}$$

$$Z \text{ ---- } 1.54 \text{ Kg h.c.}$$

$$F_{a.p.} = 0.08753 \text{ Kg aire/Kg clinker}$$

- Con este último dato y el cálculo del Cp a.p./te tenemos que:

$$C_{p \text{ a.p./te}} = C_{p \text{ aire/34}^\circ\text{C}} = 0.236 * 34 + 25 E^{-6} * (34)^2 =$$

$$8.0529 \frac{\text{KCAL}}{\text{KG AIRE}}$$

$$Q_4 = F_{ap} * C_{p \text{ a.p./te}}$$

$$Q_4 = 0.08753 * 8.0529$$

$$Q_4 = 0.7048 \text{ KCAL/KG CLINKER}$$

- Calor sensible del exceso de aire de combustión - - -

Con la ecuación (5.15), el flujo mínimo de aire por kilogramo de combustible y el análisis Orsat de los gases a la salida del precalentador, se puede encontrar el porcentaje de exceso de aire.

#### RESULTADOS ANALISIS ORSAT

$$\% \text{ CO}_2 = 27.5\%$$

$$\% \text{ O}_2 = 4.7\%$$

$$\% \text{ Exceso de aire} = \frac{1}{1 - \frac{(79}{21} * \frac{4.7}{(100 - 27.5 - 4.7)})}$$

$$\% \text{ Exceso de aire} = 1.3527$$

- Con el dato anterior y la temperatura de entrada de los gases, la cual deberá ser la temperatura ambiental, podemos obtener el calor sensible de los gases de exceso en la combustión.

- Cálculo del flujo mínimo de aire por kilogramo de combustible (Fa.m)  
Se necesita un análisis del combustible a utilizar, en este caso del combustóleo.

RESULTADOS DEL ANALISIS

C = 81.9%  
H = 10.8%  
S = 3.8%

Los porcentajes obtenidos son substituídos en la siguiente ecuación con el fin de obtener la cantidad mínima de oxígeno por kilogramo de combustible.

$$O_2 \text{ mínimo} = (1.865 * \%C) + (5.555 * \%H) + (0.6982 * \%S) \left( \frac{m^3}{Kg \text{ co}} \right)$$

$$O_2 \text{ mínimo} = (1.865 * 0.819) + (5.555 * 0.108) + (0.6982 * 0.0038)$$

$$O_2 \text{ mínimo} = 2.15 \frac{m^3}{kg \text{ co}}$$

- Si la densidad del oxígeno es de:

$$O_2 = 1.4282 \frac{Kg}{m^3}$$

$$O_2 \text{ mínimo} = 2.15 \frac{m^3}{kg \text{ co}} * 1.4282 \frac{Kg \text{ } O_2}{m^3}$$

$$O_2 \text{ mínimo} = 3.07 \frac{Kg}{Kg_{CO}}$$

- Como en una mezcla de aire se tiene aproximadamente:

$$23.2\% O_2 \text{ y } 76.8\% N$$

por lo tanto:

$$W_{a.m.} = \frac{3.07 \frac{Kg \text{ } O_2}{Kg \text{ co}}}{0.232 \frac{Kg \text{ } O_2}{Kg \text{ aire}}}$$

$$W_{a.m.} = 13.23 \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ co}}$$

Si el flujo másico Wam se desea convertir en flujo másico por kilogramo de clinker lo que se tiene que hacer es lo siguiente:

$$F \text{ a.m.} = 13.23 \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ co}} * \frac{X}{91.21} \frac{Kg/co}{Kg \text{ cl}}$$

$$F \text{ a.m.} = 0.00145 X \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ clinker}}$$

$$Q_7 = \% \text{ Exceso de aire} * F \text{ a.m.} * C_p \text{ a/te}$$

$$= 1.3527 * \frac{13.23}{91.21} X * 8.0529$$

$$Q_7 = 0.0158 X \frac{KCAL}{KG \text{ CLINKER}}$$

- Calor sensible del aire Secundario y Terciario.

Es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

$$F \text{ aire total} = F \text{ a.p.} + F \text{ a.s.} + F \text{ a.t.}$$

$$0.4 * F \text{ aire total} = F \text{ a.p.} + F \text{ a.s.}$$

$$0.6 * F \text{ aire total} = F \text{ a.t.}$$

- Primero hay que calcular el flujo de aire total.

$$F \text{ aire total} = (\% \text{ Exceso aire}) (F \text{ a.m.})$$

$$= (1.3527) (0.00145 \text{ X Kg } \frac{\text{aire}}{\text{Kg cl}})$$

$$F \text{ aire total} = 0.00196 \text{ X } \frac{\text{Kg aire}}{\text{Kg clinker}}$$

- Como ya se tiene lo necesario se procede a calcular los flujos de aire secundario y terciario.

así tenemos que:

$$F \text{ a.t.} = 0.6 F \text{ aire total}$$

$$= 0.6 (0.00196 \text{ X})$$

$$F \text{ a.t.} = 0.001176 \text{ X } \frac{\text{Kg}}{\text{Kg clinker}}$$

Y el flujo de aire secundario será:

$$F \text{ a.s.} = 0.4 F \text{ aire total} - F \text{ a.p.}$$

$$= 0.4 (0.00196 \text{ X}) - (0.08753)$$

$$F \text{ a.s.} = 0.000784 \text{ X} - 0.0853$$

- Ahora se puede proceder a obtener las cantidades de energía aportadas en calor sensible por el aire secundario y el aire terciario.

#### AIRE SECUNDARIO

$$Q_5 = F \text{ a.s.} * C_p \text{ a.s./te}$$

donde:

$$C_p \text{ a.s./te} = C_p \text{ a.s./34}^\circ\text{C} = 0.236 (34) + 25 \text{ E}^{-6} (34)^2$$

$$C_p \text{ a.s./34}^\circ\text{C} = 8.0529 \text{ KCAL/KG}$$

$$Q_5 = (0.000784 \text{ X} - 0.08753) 8.0529$$

$$Q_5 = 0.00632 \text{ X} - 0.70487 \frac{\text{KCAL}}{\text{KG CLINKER}}$$

#### AIRE TERCIARIO

$$Q_6 = F \text{ a.t.} * C_p \text{ a.t./te}$$

Y el  $C_p a.t/te = C_p a.s/te$  debido a que ambos son del aire a  $34^\circ C$ .

$$Q_6 = (0.001176 X) (8.0524)$$

$$Q_6 = 0.00947 X \frac{KCAL}{KG \text{ CLINKER}}$$

\* Calor sensible cedido por el aire de exceso a la entrada del Enfriador Folax.

En el caso de los enfriadores tipo Folax, el sistema de enfriamiento es por aire, el cual se suministra por medio de ventiladores. Es necesario hacer, para cada uno de los ventiladores (V.T.I) un análisis como el realizado para el flujo de aire primario (F a.p.) (ver apéndice B2 sección de Aire necesario para la combustión - aire primario). Los datos necesarios de cada ventilador son:

----- Presión estática (Ps)  
----- Presión dinámica (Pd)  
----- Presión total (Pt)  
----- Aire/te  
----- Temperatura del aire  
----- Area

Lo que se calculará serán los Kg. de aire por hora suministrados por cada uno de los ventiladores.

RESULTADOS

<u># Ventilador</u>	<u>Flujo Másico (W) (Kg aire/hr)</u>
# 5620	17820.08
# 5621	19090.47
# 5622	18455.28
# 5624	19082.64
# 5625	17026.24
# 5626	27948.25
# 5634	21435.31
# 5635	<u>47819.48</u>

F v = 206 732.19 Kg aire/hr

Con una equivalencia podemos encontrar la cantidad de aire por kilogramo de clinker utilizado:

$$206 \text{ 732.19 Kg aire/hr} \text{ ---- } 143 \text{ 000 Kg. h.c./hr}$$

$$Z \text{ ---- } 1.54 \text{ kg. h.c/Kg clinker}$$

$$Z = 2.226 \text{ Kg aire/kg clinker}$$

Sin embargo este es el flujo de aire total suministrado al Enfría dor. El exceso de aire se calculará con la ecuación (5.17).

$$F \text{ e.a.f.} = F_v - F \text{ a.p.} - F \text{ a.s.}$$

donde:

$$F \text{ a.s.} = 0.000784 X - 0.08753 \text{ (KG AIRE/KG CLINKER)}$$

$$F \text{ a.p.} = 0.08753 \text{ KG AIRE/KG CLINKER}$$

$$F_v = 2.226 \frac{\text{Kg aire}}{\text{Kg clinker}}$$

$$\text{---- } F \text{ e.a.f.} = 2.226 - 0.000784 X + 0.08753 - 0.001176 X$$

$$F \text{ e.a.f.} = 2.3135 - 0.001960 X$$

- Ahora se calculará el calor sensible, utilizando la ecuación (5.18).

$$Q_g = F \text{ e.a.f.} * C_p \text{ e.a.f./te}$$

donde:

$$C_p \text{ c.a.f./34}^\circ \text{ C} = 8.0529 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\text{---- } Q_g = (2.3135 - 0.00196 X) * 8.0529$$

$$Q_g = 18.63 - 0.01578 X \left( \frac{\text{KCAL}}{\text{KG CLINKER}} \right)$$

\*Calor sensible proporcionado por la harina cruda (alimentación)

Utilizaremos el flujo de harina cruda por kilogramo de clinker calculado en el Balance de materiales y la ecuación (5.19)

$$Q_g = F \text{ h.c.} * C_p \text{ h.c./te}$$

donde:

$$F \text{ h.c.} = 1.54 \text{ KG/KG CLINKER}$$

$$C_p \text{ h.c./te} = C_p \text{ h.c./60}^\circ \text{ C} = (0.206 * 60) + (8E^{-6} * 60^2) = 12.648 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\text{---- } Q_g = 1.54 * 12.648 = 19.48 \frac{\text{KCAL}}{\text{KG CLINKER}}$$

$$Q_g = 19.48 \frac{\text{KCAL}}{\text{KG CLINKER}}$$



\* Calor sensible proporcionado por el polvo regresado a el Horno.

De nuevo se necesitan los kilogramos de polvo por kilogramo de clinker calculados en el Balance de Materia y la ecuación (5.20).

$$Q_{10} = F \text{ p.r.h.} * C_p \text{ p.r.h./te}$$

donde:

$$F \text{ p.r.h.} = 0.09147 \text{ KG/KG DE CLINKER}$$

$$C_p \text{ p.r.h./te} = C_p \text{ p.r.h./125}^\circ\text{C} \\ = (0.206 * 125) + (80E^{-6} * 125^2)$$

$$C \text{ p.p.r.h./125}^\circ\text{C} = 27 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\text{----- } Q_{10} = 0.09147 * 27$$

$$Q_{10} = \underline{2.4697 \text{ KCAL/KG CLINKER}}$$

B. 3 CALCULOS REALIZADOS PARA LOS REQUERIMIENTOS O PERDIDAS DE ENERGIA.

- PRODUCTOS DE COMBUSTION.

Primero se tiene que realizar un análisis del combustible a utilizar, en este caso combustóleo.

RESULTADO DEL ANALISIS

% C ----- 81.9  
 % H ----- 10.8  
 % S ----- 3.8

Luego calcular el flujo de gases producidos por las reacciones de combustión en base a 1 kilogramo de combustible. Para ello utilizaremos la siguiente ecuación:

$$G \text{ p comb} = (3.66 * \% C) + (9 * \% H) + \frac{[(28 * 79) * 3.07]}{(32 * 21)}$$

$$G \text{ p.comb} = 14.075 \text{ KG/KG COMB}$$

- Cálculo del Cp de mezcla.

Utilizaremos la ecuación mostrada en el apéndice B1 y la temperatura de salida será de 350° C. Tomada a la salida del precalentador.

<u>PRODUCTOS DE COMBUSTION</u>	<u>% PESO</u>	<u>Cp KCAL/KG</u>
CO <sub>2</sub>	0.2115	81.2875
H <sub>2</sub> O	0.0686	163.3625
N <sub>2</sub>	0.4965	88.2
O <sub>2</sub>	0.2166	80.22

$$Cp \text{ mezcla} = (81.2875 * 0.2115) + (163.3625 * 0.0686) + (88.2 * 0.4965) + (80.22 * 0.2166)$$

$$Cp \text{ mezcla} = 89.57 \text{ KCAL/KG}$$

- Con la ecuación (5.21) se calculará el total de calor disipado por concepto de los productos de combustión.

$$- Q_{11} = G \text{ p.com} * A * Cp \text{ p.comb}$$

$$14.075 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg/comb}} * 89.57 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} * X \frac{\text{Kg/comb.}}{9121 \text{ Kg. clín}}$$

$$- Q_{11} = \underline{0.1382 X \text{ Kcal/Kg clinker}}$$

NOTA: Hacemos la aclaración de que Q<sub>11</sub> tiene signo negativo debido a que está perdiéndose esa energía en el sistema analizado. Lo mismo sucederá con todos los siguientes requerimientos o pérdidas de energía a calcular.

- CO<sub>2</sub> DE LA HARINA CRUDA

Se utilizará el flujo de Dioxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido por la harina cruda; cálculo realizado en el apéndice A2. Además de la ecuación (5.22).

$$-Q_{12} = F(\text{CO}_2) \text{ h.c.} * C_p(\text{CO}_2) \text{ h.c./t.s.}$$

donde:

$$F(\text{CO}_2) \text{ h.c.} = 0.511 \text{ Kg/Kg clinker}$$

$$C_p(\text{CO}_2) \text{ h.c./t.s.} = C_p(\text{CO}_2) \text{ h.c./350}^\circ \text{C} \\ = (0.206 * 350) + (80E^{-6} * 350^2)$$

$$C_p(\text{CO}_2) \text{ h.c./350}^\circ \text{C} = 81.9 \text{ Kcal/Kg.}$$

\*NOTA: El Cp fue calculado a 350°C debido a que es la temperatura de salida de los gases en el precalentador.

$$--- -Q_{12} = 0.511 * 81.9$$

$$-Q_{12} = 41.85 \text{ Kcal/Kg clinker}$$

- AGUA DE LA HARINA CRUDA

Del Balance de Materiales se utiliza el flujo de agua por kilogramo de clinker calculado en el apéndice A2 y la ecuación (5.23).

$$-Q_{13} = F \text{ a.h.c.} * C_p \text{ a.h.c./ts}$$

donde:

$$F \text{ a.h.c.} = 0.0064 \text{ Kg/Kg de clinker}$$

$$C_p \text{ a.h.c./ts} = C_p \text{ a.h.c./350}^\circ \text{C}$$

- Para el cálculo de Cp del agua a 350°C es necesario considerar un cambio de fase. Esto es:

$$C_p \text{ a.h.c./350}^\circ \text{C} = C_p \text{ a.h.c./} 100^\circ \text{C} (1) + \text{vap.} + C_p \text{ a.h.c./} 350^\circ \text{C} (g)$$

$$C_p \text{ a.h.c./350}^\circ \text{C} = C_p \text{ a.h.c./} 80^\circ \text{C} + \text{vap. agua} + C_p \text{ a.h.c./} 225$$

$$C_p \text{ a.h.c./350}^\circ \text{C} = 1.0 (80) + 538.7 + (0.444(225) + 65E^{-6}(225)^2 + 595) \\ = (80 + 538.7 + 99.9 + 3.29 + 595)$$

$$C_p \text{ a.h.c./350}^\circ \text{C} = 1316.89 \text{ Kcal/Kg}$$

$$-Q_{13} = 0.0064 \text{ Kg/Kg clinker} * 1316.89 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$-Q_{13} = 8.4280 \text{ Kcal/Kg clinker}$$

- POLVOS AL COLECTOR

Se utilizará el flujo de polvos al colector por kilogramo de clinker calculados en el apéndice (A2) y la ecuación (5.24).

$$Q_{14} = F \text{ p.c.} * C_p \text{ p.c./ts}$$

donde:

$$F \text{ p.c.} = 0.0924 \text{ Kg/Kg de clinker}$$

$$C_p \text{ p.c./ts} = C_p \text{ p.c./350}^\circ \text{ C} = (0.206 * 350) + (80^{-6} * 350^2)$$

$$C_p \text{ p.c./350}^\circ \text{ C} = 81.9 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$- Q_{14} = 0.0924 * 81.9$$

$$\underline{- Q_{14} = 7.57 \text{ Kcal/Kg clinker}}$$

- CALOR DE REACCION

Se requiere un análisis de la harina cruda.

$$\% \text{ Al}_2\text{O}_3 \quad \text{-----} \quad 5.79$$

$$\% \text{ SiO}_2 \quad \text{-----} \quad 20.96$$

$$\% \text{ Fe}_2\text{O}_3 \quad \text{-----} \quad 2.0$$

$$\% \text{ P.I.H.C.} \quad \text{-----} \quad 0.346$$

$$\% \text{ T} \quad \text{-----} \quad 76$$

Y la ecuación (5.25)

$$- Q_{15} = 4.28 * \frac{1}{1 - \% \text{ P.I.H.C.}} * \% \text{ T} + 4.11 * \% \text{ Al}_2\text{O}_3 - 5.12 * \% \text{ SiO}_2 - 0.59 * \% \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$- Q_{15} = 4.28 * \frac{1}{1 - 0.346} * 76 + 4.11 * 5.79 - 5.12 * 20.96 - 0.59 * 2.0$$

$$\underline{- Q_{15} = 412.67 \text{ Kcal/Kg clinker}}$$

- PERDIDAS POR RADIACION Y CONVECCION

En este caso, las pérdidas se estimaron de la siguiente forma:

Pérdida en el horno = 60 Kcal/Kg clinker

" " ciclones del precalentador =  $7.5 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg de clinker}}$

Pérdidas en el Folax = 10 Kcal/kg clinker

$$- Q_{16} = 60 + 7.5 + 10 = 77.5 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg clinker}}$$

$$\underline{- Q_{16} = 77.5 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg. clinker}}}$$

- PERDIDAS EN EL ENFRIADOR FOLAX

Utilizando la ecuación (5.28) y calculando la capacidad calorífica del clinker a su temperatura de salida del Enfriador Folax.

$$Cp \text{ cl/ts} = Cp \text{ cl/90}^\circ\text{C} = (0.186 * 90) + (67 E^{-6} * 90^2)$$

$$Cp \text{ cl/90}^\circ\text{C} = 17.28 \text{ Kcal/Kg}$$

$$- Q_{17} = 1 \text{ kg de clinker} * Cp \text{ cl/90}$$

$$- Q_{17} = 1 * 17.28$$

$$- \underline{Q_{17} = 17.28 \text{ Kcal/Kg clinker}}$$

\* Por el exceso de aire en el enfriador.

Utiliza el flujo de aire que se calculó en el apéndice B2 (sección de calor sensible) y la ecuación (5.29).

$$- Q_{18} = F \text{ e.a.f.} * Cp \text{ e.a.f/ts}$$

donde:

$$F \text{ e.a.f.} = 2.3135 - 0.00196 X \text{ Kg/Kg clinker}$$

$$Cp \text{ e.a.d/ts} = Cp \text{ e.a.f/350}^\circ\text{C} = 85.66 \text{ Kcal/Kg}$$

$$-Q_{18} = (2.3135 - 0.00196 X) 85.66$$

$$- \underline{Q_{18} = 198.174 - 0.1678 X}$$

- EXCESO DE AIRE EN EL SISTEMA.

Utilizar la ecuación (5.30)

$$-Q_{19} = \% \text{ Exceso de aire} * F \text{ a.m} * Cp \text{ a.m/ts}$$

donde:

$$\% \text{ Exceso de aire} = 1.3527 \text{ (ver apéndice B2 sección calor sensible).}$$

$$F \text{ a.m.} = 0.00145 X \frac{\text{Kg}}{\text{Kg de clinker}} \text{ (ver sección B2: calor sensible)}$$

$$Cp \text{ a.m./ts} = Cp \text{ a/350}^\circ\text{C} = 85.66 \text{ Kcal/Kg}$$

$$----- -Q_{19} = (1.3527) (0.00145X) (85.66)$$

$$- \underline{Q_{19} = 0.168 X \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg clinker}}}$$

#### \*RESULTADO FINAL\*

Es necesario sumar todas las entradas y todas las salidas, e igualarlas. En el Capítulo 5, sección 5.4 se presentan en forma de tabla los resultados y la suma de las entradas y las salidas. Al igualarlas obtenemos:

ENTRADAS	=	SALIDAS
40.58 + 1.02258 X	=	763.46 + 0.1384 X
(1.02258 - 0.1384) X	=	(763.46 - 40.58)
X	=	<u>722.88</u>
		0.8841
X	=	<u>817.64 Kcal/Kg clinker</u>

APENDICE C  
 DATOS DE PRODUCCION  
 DE CEMENTO EN LA  
 REPUBLICA MEXICANA

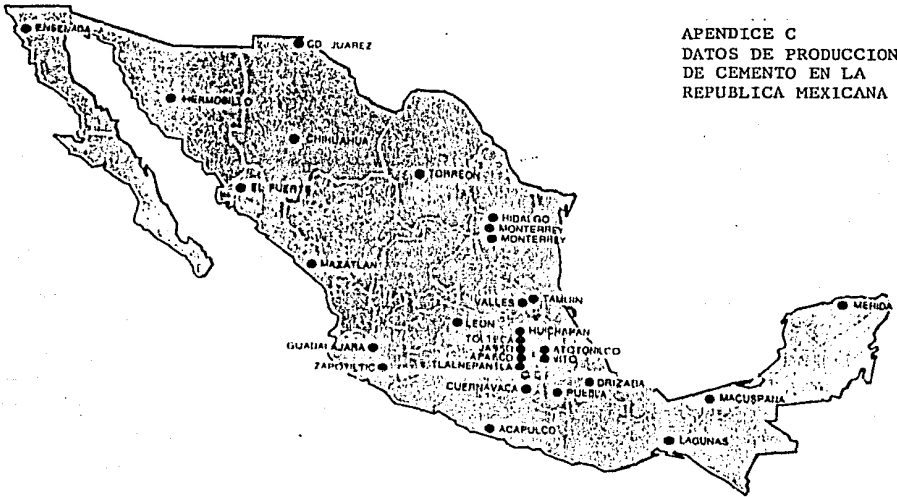
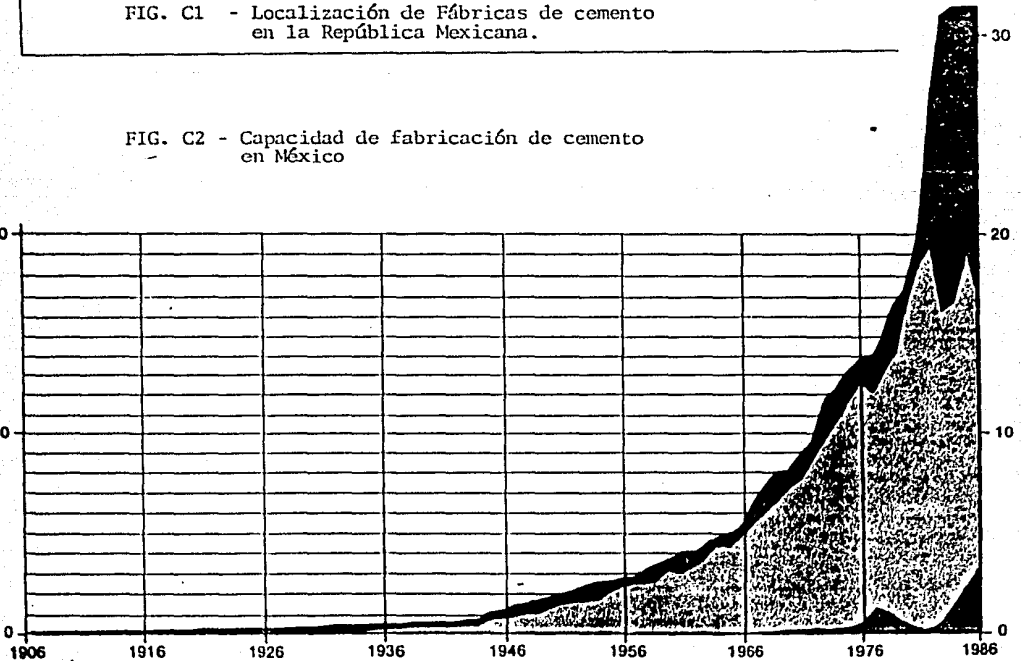


FIG. C1 - Localización de Fábricas de cemento en la República Mexicana.

FIG. C2 - Capacidad de fabricación de cemento en México



## CAPACIDAD ANUAL DE LAS PLANTAS PRODUCTORAS DE CEMENTO 1977-1986

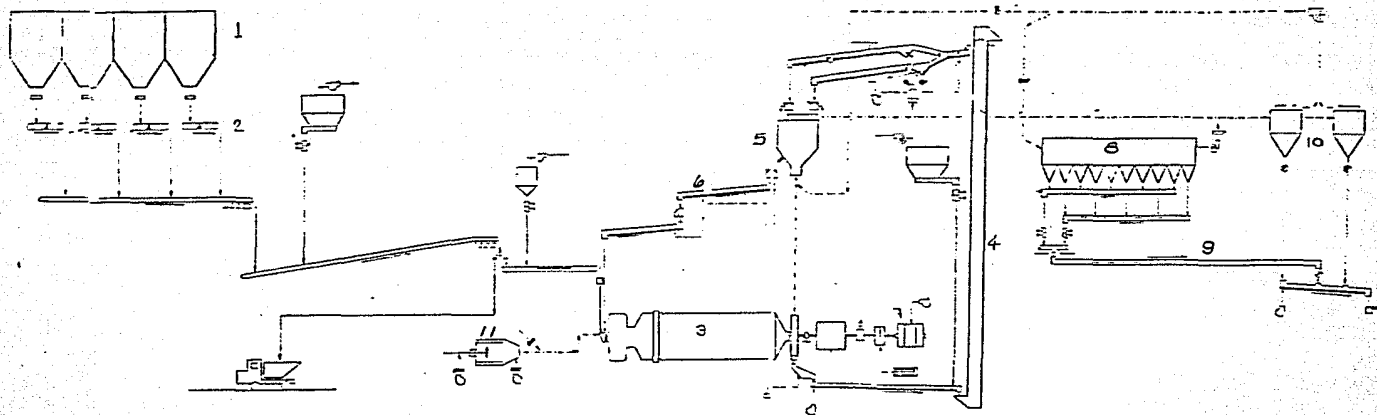
Miles de Toneladas

Entidad Federativa	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
	28	28	28	28	28	29	29	29	30	30
	Plantas	Plantas	Plantas	Plantas	Plantas	Plantas	Plantas	Plantas	Plantas	Plantas
Cemento Portland Blanco de México, S.A.	Hidalgo	75	75	75	75	75	69	69	69	69
Cemento Portland Nacional, S.A. de C.V.	Sonora	102	102	102	99	105	940	540	940	940
Cemento Anáhuac, S.A.	México	1 680	1 680	1 680	2 000	2 000	2 500	2 500	2 500	2 500
Cementos Anáhuac del Golfo, S.A.	S.L.P.	1 590	1 590	1 590	1 590	1 590	2 000	2 000	2 000	2 000
Cementos Apasco, S.A. de C.V. (Div. Centro)	México	1 125	1 125	1 350	1 350	1 500	1 550	1 705	1 705	1 705
Cementos Apasco, S.A. de C.V. (Div. Tabasco)	Tabasco	—	—	—	—	—	634	920	920	920
Cementos Atoyac, S.A. de C.V.	Puebla	120	120	120	132	155	155	165	165	165
Cementos de Acapulco, S.A.	Guerrero	180	180	180	180	200	200	200	346	350
Cementos de Chihuahua, S.A. de C.V.	Chihuahua	330	330	330	330	371	650	900	900	950
Cementos de Chihuahua, S.A. de C.V. (Cd. Juárez)	Chihuahua	105	120	120	120	145	145	145	145	145
Cementos del Norte, S.A.	Nvo. León	240	240	240	240	264	265	265	265	265
Cementos del Pacifico, S.A. de C.V.	Sinaloa	150	150	150	120	160	160	160	160	213
Cementos Guadalajara, S.A. (Guadalajara)	Jalisco	570	570	570	420	830	705	1 950	1 950	1 950
Cementos Guadalajara, S.A. (Ensenada)	B. Calif. Nte.	173	173	533	570	720	720	1 020	1 020	1 020
Cementos Hidalgo, S.C.L.	Nvo. León	225	425	525	525	525	456	456	456	456
Cementos Maya, S.A. (León)	Guanajuato	450	450	450	450	660	750	810	810	810
Cementos Maya, S.A. (Mérida)	Yucatán	189	189	564	564	620	710	710	710	710
Cementos Mexicanos, S.A. (Huilchapan)	Hidalgo	—	—	—	—	—	—	—	1 100	1 100
Cementos Mexicanos, S.A. (Monterrey)	Nvo. León	1 140	1 545	1 545	1 545	1 700	2 370	2 370	2 370	2 370
Cementos Mexicanos, S.A. (Torreón)	Coahuila	300	300	705	705	775	1 580	1 580	1 580	1 500
Cementos Mexicanos, S.A. (Valles)	S.L.P.	150	150	150	150	165	915	915	915	915
Cementos Portland Moctezuma, S.A. de C.V.	Morelos	132	132	132	132	158	158	158	158	480
Cementos Sinaloa, S.A. de C.V.	Sinaloa	300	300	300	390	510	510	510	510	542
Cementos Toluca, S.A. de C.V. (Alotitlaco)	Hidalgo	1 200	1 200	1 200	1 314	1 715	1 786	1 786	1 786	1 786
Cementos Toluca, S.A. de C.V. (Miscoac)	D.F.	285	285	285	282	329	329	329	329	302
Cementos Toluca, S.A. de C.V. (Toluca)	Hidalgo	609	609	609	603	770	818	818	818	933
Cementos Toluca, S.A. de C.V. (Zapotitlán)	Jalisco	450	450	450	690	840	840	1 798	1 798	1 798
Cementos Veracruz, S.A. de C.V.	Veracruz	510	555	645	645	700	1 600	1 687	1 687	1 700
Cementos Cruz Azul, S.C.L. Planta Jasso	Hidalgo	1 015	1 350	1 350	1 350	1 400	1 560	1 800	1 870	1 870
Cementos Cruz Azul, S.C.L. Planta Lagunas	Oaxaca	450	450	450	450	470	580	2 000	2 060	2 060
<b>TOTAL</b>		<b>13 845</b>	<b>14 845</b>	<b>16 400</b>	<b>17 021</b>	<b>19 542</b>	<b>25 655</b>	<b>30 666</b>	<b>30 942</b>	<b>32 539</b>

Fuente: Cámara Nacional del Cemento

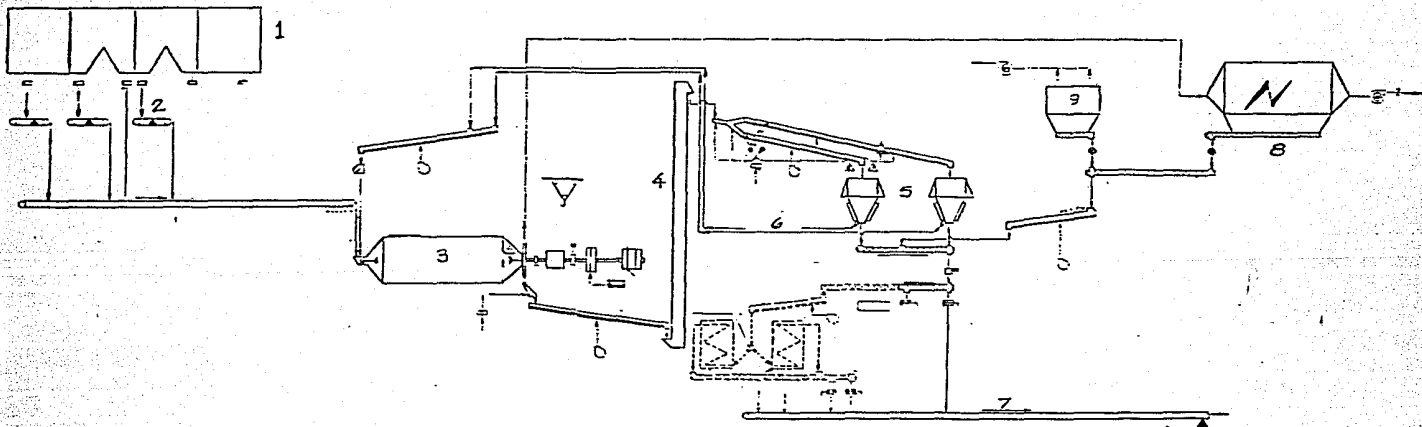






1. TOLVAS DE ALIMENTACION
2. ALIMENTADOR DE PESO CONSTANTE
3. MOLINO DE MATERIA PRIMA
4. ELEVADOR
5. SEPARADORES
6. RECIRCULACION DE GRUESOS
- 7.
8. COLECTOR DE POLVOS
9. TRANSPORTE DE CRUJOS
10. CICLONES DEL SEPARADOR
11. ESTUFA

U. N. A. M.	
FACULTAD DE INGENIERIA	
FIG C5	DIAGRAMA DE FLUJO MOLINO DE MATERIA PRIMA
TESIS PROFESIONAL	
CARLOS RANDALL VERA SEPTIEMBRE 1987	



1. TOLVAS DE ALIMENTACION
2. ALIMENTADOR DE PESO CONSTANTE
3. MOLINO DE CEMENTO
4. ELEVADOR
5. SEPARADORES
6. RECIRCULACION DE GRUESOS
7. TRANSPORTE DE CEMENTO
8. ELECTO FILTRO
9. COLECTOR DE POLVOS

U. R. A. R.	
FACULTAD DE INGENIERIA	
FIG. 65	DIAGRAMA DE FLUJO MOLINO DE CEMENTO
TESIS PROFESIONAL	
CARLOS RANDALL VERA SEPTIEMBRE 1957	

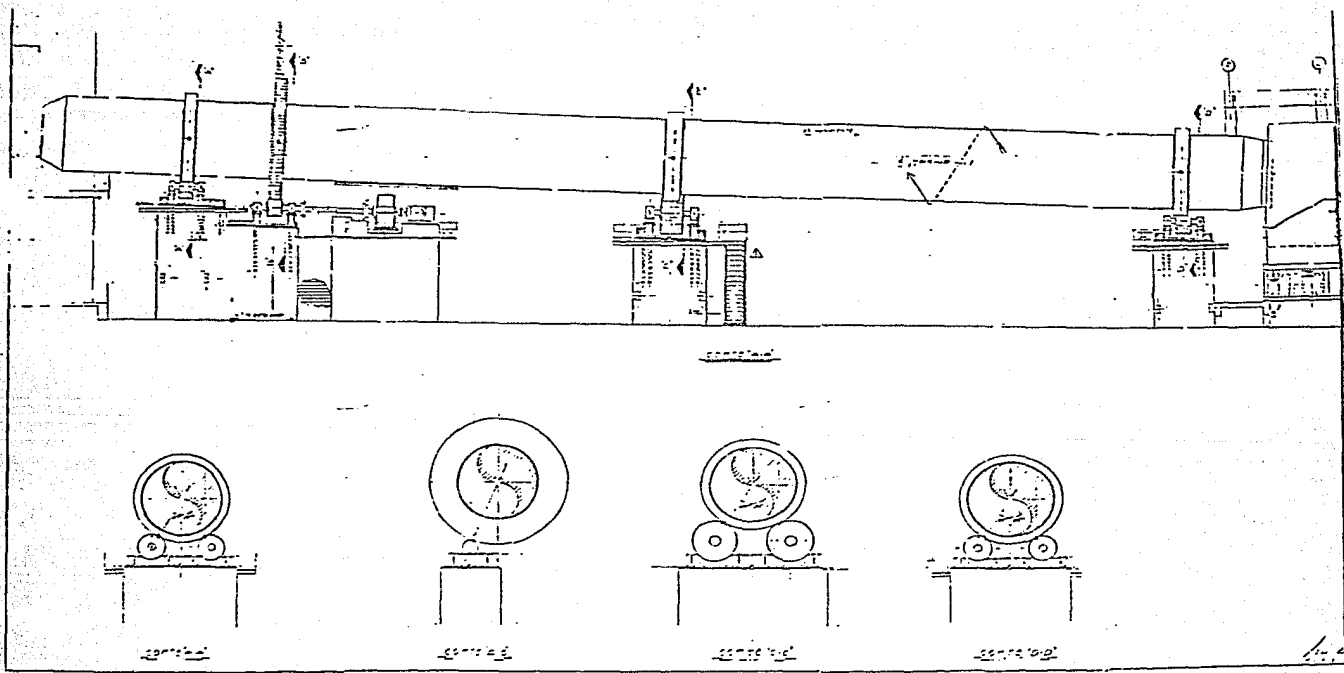


FIG. C-7 ELEVACION HORNO DE CLINKER MODELO 4.55D X 68 M

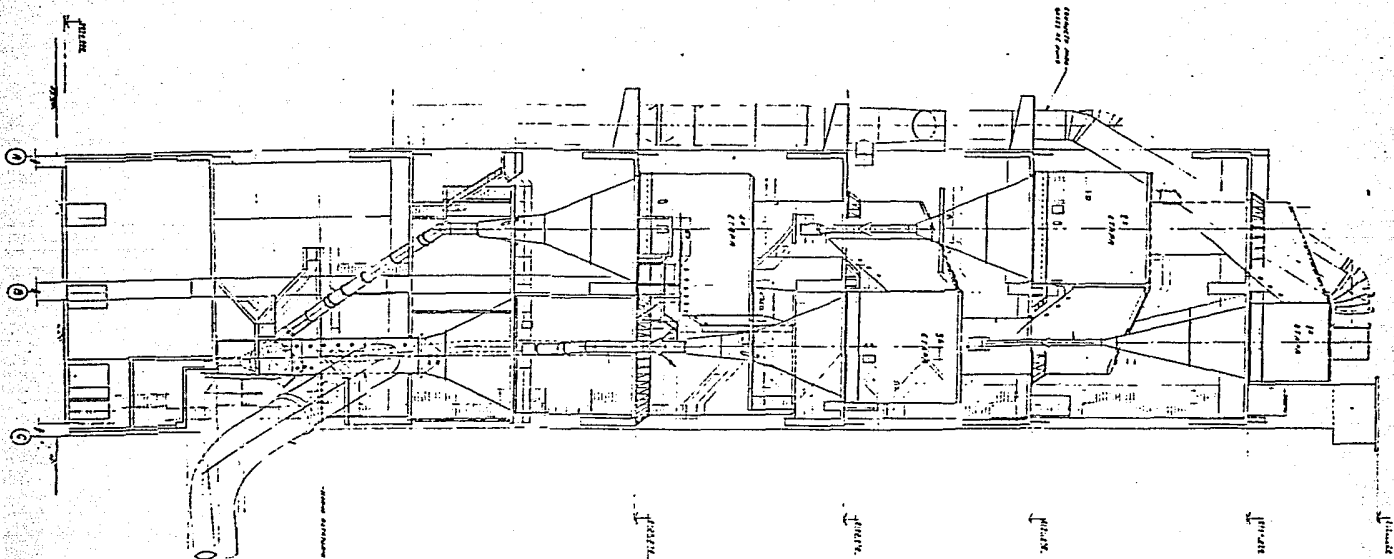


FIG. C-8 ELEVACION TORRE PRECALENTADOR DE 4 ETAPAS  
CON CALCINADOR.



ESTIMADO DE COSTO  
MONTAJE DE HORNO Y PRECALENTADOR

FEBRERO 1965

RESUMEN ESTIMADO

PARTIDA	DESCRIPCION	HORNO	PRECALENTADOR	TOTAL	%	
1.0	SUELDOS Y SALARIOS					
1.1	MANO DE OBRA DIRECTA	7,503,360	9,499,340	17,072,720	20.02%	
1.2	OPERADORES	777,000	706,800	1,563,800	1.91%	
1.3	SUPERVISION	1,602,000	1,602,000	3,204,000	3.91%	
1.4	ADMINISTRACION	1,805,000	1,805,000	3,610,000	4.40%	
1.5	SUBTOTAL	11,767,360	13,693,140	25,460,520	31.03%	
1.6	VIATICOS PERSONAL FORANEJO	2,200,040	2,670,330	4,969,170	6.06%	
2.1	PRESTACIONES Y BENEFICIOS SOCIALES	56%	6,627,388	7,706,344	14,333,733	17.40%
3.1	MATERIALES DE CONSUMO	12%	1,412,006	1,641,977	3,054,062	3.72%
3.2	HERRAMIENTA CONSUMIBLE	6%	706,043	820,900	1,527,031	1.86%
3.3	COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES		800,000	700,000	1,500,000	1.83%
3.4	ODRAS TEMPORALES		900,000	900,000	1,800,000	2.19%
3.5	FLETES		600,000	600,000	1,200,000	1.46%
4.1	TRASLADO LOCAL PERSONAL		600,000	680,000	1,280,000	1.56%
	TOTAL INDIRECTO DE DORA	11,645,517	13,049,310	24,694,826	30.11%	
	TOTAL DORA	25,711,737	29,402,760	55,114,516	67.20%	
5.0	INDIRECTOS GRALES					
5.1	A) CARGO OFICINA CENTRAL	6%	1,542,704	1,764,167	3,306,871	4.03%
5.2	B) RENTA MAQUINARIA		9,440,550	8,006,600	17,527,150	21.37%
5.3	C) HTA. MANUAL		314,550	235,250	549,800	0.67%
5.4	D) UTILIDAD E IMPUESTOS	10%	2,571,174	2,940,278	5,511,452	6.72%
	TOTAL INDIRECTO	13,868,978	13,026,295	26,895,273	32.80%	
	GRAN TOTAL	39,500,715	42,429,074	82,009,789	100.00%	

U. N. A. PL

FACULTAD DE INGENIERIA

TABLA 2

RESUMEN ESTIMADO DE COSTO

TESIS PROFESIONAL

CARLOS RANDALL VERA  
SEPTIEMBRE 1967

ESTIMADO DE COSTO  
MONTAJE DE HORNO Y PRECALENTADOR

FEBRERO 1965

COSTO DE MANO DE OBRA

PARTIDA	DESCRIPCION	TARIFA SEMANAL	HORNO SEMANAS	PREC/CALENTADOR		TOTAL		
				SEMANAS	TOTAL	SEMANAS	TOTAL	
1								
1 H. DE OBRA PRODUCTIVA								
	TOPOGRAFIA	12,950	9	115,550	9	115,550	10	233,100
	CADO	12,950	65	841,750	60	1,036,000	145	1,877,750
	OFICIAL ESPECIAL	12,600	165	2,079,000	205	2,583,000	370	4,662,000
	OFICIAL	11,550	170	1,963,500	215	2,403,250	385	4,446,750
	AYUDANTE	6,532	315	2,063,800	305	2,580,040	710	4,651,920
	PEON	5,460	95	518,700	125	607,500	220	1,201,200
	TOTAL H O PRODUCTIVA		819	7,583,300	1,029	9,409,340	1,840	17,072,720
	VIATICOS	30%		1,500,240		1,865,640		3,365,880
2 OPERADORES								
	GRUA 140 TON	12,950	12	155,400	10	129,500	22	284,900
	GRUA 60 TON	12,600	6	75,600	6	100,800	14	176,400
	CAHON WUNCHE	10,500	10	105,000	10	105,000	20	210,000
	CAHON PLATAFORMA	10,500	8	84,000	10	105,000	18	189,000
	CAHONETA	10,500	22	231,000	18	189,000	40	420,000
	CAHONETA PANEL	10,500	12	126,000	15	157,500	27	283,500
	TOTAL OPERADORES		70	777,000	71	786,800	141	1,563,800
	VIATICOS OPERADORES	30%		126,000		152,090		258,090
	TOTAL SALARIOS			8,360,300		10,276,140		18,636,520
	TOTAL VIATICOS			1,626,240		1,997,730		3,623,970
	GRAN TOTAL			9,986,520		12,273,870		22,260,490

U. N. A. H.

FACULTAD DE INGENIERIA

TABLA 3

COSTO DE MANO DE OBRA  
DIRECTA Y OPERADORES

TESIS PROFESIONAL

CARLOS RANDALL VERA  
SEPTIEMBRE 1987

ESTIMADO DE COSTO  
MONTAJE DE HORNO Y PRECALENTADOR

FEBRERO 1985

COSTO SUPERVISION DE OBRA

PARTIDA	DESCRIPCION	TARIFA SEMANAL	HORNO		PRECALENTADOR		TOTAL	
			SEMANAS	TOTAL	SEMANAS	TOTAL	SEMANAS	TOTAL
<b>1 SUPERVISION</b>								
	SUPERINTENDENTE	35,000	12	420,000	12	420,000	24	840,000
	RESIDENTE DE AREA	27,000	22	594,000	22	594,000	44	1,188,000
	AUXILIAR DE RESIDENTE	15,000	12	180,000	12	180,000	24	360,000
	SUBRESTATANTE	17,000	24	408,000	24	408,000	48	816,000
	TOTAL SUPERVISION		70	1,602,000	70	1,602,000	140	3,204,000
	VIATICOS	30%		480,600		480,600		961,200
<b>2 ADMINISTRACION</b>								
	JEFE ADMINISTRATIVO	25,000	12	300,000	12	300,000	24	600,000
	AUXILIAR ADM	17,000	8	136,000	8	136,000	16	322,000
	AUXILIARES	12,000	30	360,000	30	360,000	60	720,000
	ALMACENISTA	17,000	12	204,000	12	204,000	24	408,000
	AUX. ALMACEN	11,500	15	172,500	15	172,500	30	345,000
	SECRETARIA	11,500	15	172,500	15	172,500	30	345,000
	VELADORES	11,500	40	460,000	40	460,000	80	920,000
	TOTAL ADMINISTRACION		132	1,805,000	132	1,805,000	264	3,610,000
	VIATICOS ADMIN	30%		192,000		192,000		384,000
	TOTAL SALARIOS			3,407,000		3,407,000		6,814,000
	TOTAL VIATICOS			672,600		672,600		1,345,200
	GRAN TOTAL			4,079,600		4,079,600		8,159,200

U. N. A. P.

FACULTAD DE INGENIERIA

TABLA 4

COSTO SUPERVISION DE OBRA

TESIS PROFESIONAL

CARLOS RANDALL VERA  
SEPTIEMBRE 1987



ESTIMADO DE COSTO  
MONTAJE DE HORNO Y PRECALENTADOR

RENTA DE MAQUINARIA DE CONSTRUCCION PROPIA

FEBRERO 1985

PARTIDA	DESCRIPCION	HORNO		PRECALENTADOR		TOTAL		
		TARIFA SEMANAL	SEMANAS	TOTAL	SEMANAS	TOTAL	SEMANAS	TOTAL
1	GRUA 140 TON	500,000	6	3,000,000	4	2,000,000	10	5,000,000
2	GRUA 60 TON	350,000	6	2,100,000	4	1,400,000	10	3,500,000
3	CAMION WINCHE 8 TON	56,000	10	560,000	10	560,000	20	1,120,000
4	CAMION PLATAFORMA 30 TON	75,000	4	300,000	6	450,000	10	750,000
5	CAMION 15 TON	50,000	10	500,000	10	500,000	20	1,000,000
6	CAMIONETA 3 TON	26,000	10	260,000	10	260,000	20	520,000
7	CAMIONETA 11 TON	24,000	10	240,000	10	240,000	20	480,000
8	CAMIONETA PANEL	27,000	10	270,000	10	270,000	20	540,000
9	MAQSOLDAR 600 AMPERES	35,000	40	1,400,000	20	700,000	60	2,100,000
10	MAQSOLDAR 400 AMPERES	30,000	75	2,250,000	70	2,100,000	145	4,350,000
11	COMPRESOR 250 PCM	56,000	5	200,000	10	560,000	15	840,000
12	TRANSITO TOPOGRAFICO	8,000	5	40,000	5	40,000	10	80,000
13	NIVEL TOPOGRAFICO	8,500	5	42,500	5	42,500	10	85,000
14	GENERADOR DE EMERGENCIA	60,000	3	180,000		0	3	180,000
15	ESTRUCTURA SOPORTE	16,000	10	160,000		0	10	160,000
16	HALCATE 20 TON	40,000		0	15	600,000	15	600,000
17	GATO HIDRAULICO 150 TON	10,000	40	400,000		0	40	400,000
18	GATO HIDRAULICO 50 TON	7,000	40	280,000	40	280,000	80	560,000
19	TIRFOR 3 TON	4,000	60	240,000	60	240,000	120	480,000
20	REVOL. C CONCRETO 1 SACO	15,000	10	150,000	10	150,000	20	300,000
21				0		0		0
22	SUB TOTAL		359	12,652,500	299	10,392,500	658	23,045,000
23				0		0		0
24	ESCRITORIO C/SILLAS	1,200	10	12,000	10	12,000	20	24,000
25	ARCHIVERO METALICO	700	10	7,000	10	7,000	20	14,000
26	MAQUINAS DE ESCRIBIR	1,250	10	12,500	10	12,500	20	25,000
27	CALCULADORAS	1,100	10	11,000	10	11,000	20	22,000
28				0		0		0
29	SUB TOTAL		40	42,500	40	42,500	80	85,000
30						0		0
31	HERRAMIENTA DE PRECISION	5,000	10	50,000		0	10	50,000
32	ESMERIL DE MANO	2,100	100	210,000	100	210,000	200	420,000
33	PULIDOR DE MANO	2,100	100	210,000	100	210,000	200	420,000
34	EQUIPO SAND BLAST	6,000		0	10	60,000	10	60,000
35	EQUIPO DE PINTURA	3,500	10	35,000	30	105,000	40	140,000
36	EQUIPOS DE ORI CORTE	2,100	150	315,000	150	315,000	300	630,000
37	EQUIPO DE ARC AIR	1,700	30	51,000	20	34,000	50	85,000
38	TARRAJA ELECTRICA	12,000	10	120,000	10	120,000	20	240,000
39	TIRFOR DE 1.5 TON	11,000	30	354,000	50	500,000	80	944,000
40								
41	SUB TOTAL		440	1,345,000	470	1,644,000	910	2,989,000
42								
43	TOTAL MAQ. Y EQUIPO		839	14,040,000	809	12,079,000	1,648	26,119,000
44								
45	RENTA AJUSTADA	658		9,126,000	526	7,051,350	1,071	16,977,350
46								
47	HTA. MANUAL P/MECANICO	900	95	93,100	40	39,200	135	132,300
48	HTA. MANUAL P/PAILERO	650	80	52,000	90	58,500	170	110,500
49	HTA. MANUAL P/SOLDADOR	470	105	49,350	105	49,350	210	98,700
50	HTA. MANUAL P/MONTADOR	900	95	93,100	90	89,200	185	181,300
51	HTA. MANUAL P/REFRACTARIO	450	60	27,000		0	60	27,000
52								
53	TOTAL HERRAMIENTA		435	314,550	325	235,250	760	549,800
54								
55	GRAN TOTAL		1,274	9,440,550	851	8,006,600	1,831	17,527,150

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

TADLA 5

RENTA DE MAQUINARIA

Y EQUIPO PROPIO

TESIS PROFESIONAL

CARLOS RANDALL VERA

SEPTIEMBRE 1987

PARTIDA	DESCRIPCION	RELACION	CABO	ESPECIAL	OFICIAL	AYUDANTE	PEON
1	SALARIOS						
1.1	SALARIO BASE/DIA	52.178571428571	1050	1800	1650	936	780
1.2	SALARIO BASE/SEMANA	(1.1)X7	12950	12600	11350	6532	5460
1.3	SALARIO BASE/ANO	(1.1)X365.25	675713	657450	602663	341874	284895
2	PREST.BEN.SOC./ANO						
2.1	PRIMA VACACIONAL	(1.1)X52.25	2775	2700	2475	1404	1170
2.2	AGUINALDO	(1.1)X15	27750	27000	24750	14040	11700
2.3	CUOTA INSS PATRONAL	(1.3-2.1+2.2)X19.7%	139129	133369	124008	70392	58850
2.4	IMPUESTO P/EDUCACION	(1.3-2.1+2.2)X1%	70624	68715	62989	35732	29777
2.5	GUARDEPIAS	(1.3)X1%	6757	6572	6227	3419	2849
2.6	INFONAVIT	(1.3)X5%	33786	32873	30133	17094	14245
2.7	TOT.PREST.BEN.SOC./ANO		200620	273231	250461	142060	118400
3	SALARIO REAL						
3.1	SALARIO REAL / ANO	(1.3+2.7)	956533	950661	853124	483954	403295
3.2	FACTOR PREST.BEN.SOC	(1.3+2.7)/(1.3)	141.56%	141.56%	141.56%	141.56%	141.56%
3.3	SALARIO REAL/SEMANA	(1.3+2.7)/52.16	18332	17836	16350	9275	7729
4	VIATICOS PERFORANED 30% SALBASE VIATICO SEMANAL (1.1) X 7 X 30%						
			3885	3780	3465	---	---

DEFINICION DE TERMINOS EMPLEADOS EN EL TABULADOR

- 1) SALARIO BASE ES EL ESTIPULADO EN EL CONTRATO COLECTIVO DE TRABAJO NO INCLUYE SEPTIMO DIA NI NINGUNA OTRA PERCEPCION
- 2) PERCEPCION ANUAL ES LA CANTIDAD MONETARIA QUE RECIBE EL TRABAJADOR EN UN AÑO TOMANDO EN CUENTA EL AÑO BISIESTO CADA CUATRO AÑOS EL PROMEDIO ES 365.25
- 3) PRIMA VACACIONAL EL ARTICULO 80 DE LA LEY FEDERAL DE TRABAJO ESTABLECE QUE LOS TRABAJADORES TIENEN DERECHO A UNA PRIMA NO MENOR DEL 25% DE LOS SALARIOS CORRESPONDIENTES AL AL PERIODO DE VACACIONES
- 4) AGUINALDO EL ART.87 DE LA MISMA LEY ESTABLECE : LOS TRABAJADORES TENDRAN DERECHO A UN AGUINALDO ANUAL QUE DEBERA PASARSE ANTES DEL DIA VEINTE DE DICIEMBRE, EQUIVALENTE A QUINCE DIAS DE SALARIO CUANDO MENOS
- 5) CUOTA DEL I.M.S.S. PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION, SE DEFINIERON PORCENTAJES SOBRE EL TOTAL DE LA PERCEPCION (PUNTOS 2,3,4): PARA SALARIO MINIMO, SE DEFINIO 19.6875%, PARA SALARIOS SUPERIORES 15.9375%
- 6) INP.PARA LA EDUCACION SE PAGA EL 1% DEL TOTAL DEVENGADO POR EL TRABAJADOR, GRAVA PRIMA DE VACACIONES Y VACACIONES
- 7) INP.PARA GUARDEPIAS SE PAGA EL 1% DE LA PERCEPCION BASE ,NO INCLUYE PRIMA VACACIONAL, NI VACACIONES
- 8) INFONAVIT SE PAGA EL 5% DE LA PERCEPCION BASE ,NO INCLUYE PRIMA VACACIONAL, NI VACACIONES
- 9) TOTAL DE PRESTACIONES ES LA SUMA DE PRESTACIONES Y BENEFICIOS SOCIALES QUE PERCIIBE EL TRABAJADOR

U R A M

FACULTAD DE INGENIERIA

TABLA 6

TABULADOR DE SALARIOS PRESTACIONES Y BENEFICIOS SOCIALES

TESIS PROFESIONAL

CARLOS RANDALL VERA  
SEPTIEMBRE 1987

ESTIMADO DE COSTO MONTEJO DE HORNO Y PRECALCOTADOR			PROGRAMA PRESUPUESTAL													
PARTIDA	DESCRIPCION	VALOR TOTAL PARTICIP.	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			5 00K	10 00K	15 00K	20 00K	25 00K	30 00K	35 00K	40 00K	45 00K	50 00K	55 00K	60 00K	65 00K	70 00K
1-	BALANCE							1		2		0		3		
1.10	ESTIMACION NUMERO							4,309,290		10,440,033				12,705,742		
1.20	IMPORTE BRUTO	82,009,769	100 00K					848,354		1,568,003				1,905,881		
1.30	ANTICIPO Y AMORTIZACION	12,301,468	15 00K	12,301,468	12,301,468			430,929		1,044,003				1,270,574		
1.40	METODOS DE	8,200,979	10 00K					3,231,968		7,850,023				8,539,306		
1.50	IMPORTE NETO ESTIMACION	69,708,321	85 00K					9,223,344	5,601,433	2,978,774	8,200,856	2,256,428	-746,250	3,770,368	-1,438,827	
1.60	REHESA A OFI. CENTRAL		0 00K			11,140,929	8,744,374	1,353,694	0	0	3,378,473	0	0	4,109,242	0	
1.70	OTROS INGRESOS		0 00K													
	TOTAL (A)	82,009,769	100 00K	12,301,468	12,301,468	12,301,468	11,140,929	11,878,542	7,829,650	5,601,433	10,758,799	4,824,351	2,256,428	8,783,058	1,661,128	-1,438,827
2-	EGRESOS DE OBRA		0 00K													
2.1	PLANO DE OBRA	18,782,364	22 95K			254,094	731,791	752,118	752,118	854,447	914,739	914,739	1,077,390	1,077,358	1,167,850	1,107,850
2.2	SUPERV. Y ADMON.	8,859,990	8 36K			82,805	267,562	274,964	274,964	323,304	334,432	334,432	383,911	393,911	405,059	405,059
	TOTAL SUELDOS Y SALARIOS	25,642,294	31 26K			346,897	999,353	1,027,113	1,027,113	1,207,531	1,249,191	1,249,191	1,471,259	1,471,259	1,512,909	1,512,909
2.3	VIATICOS	5,022,709	8 10K			87,751	195,122	200,542	200,542	235,772	243,902	243,902	287,253	287,253	293,393	293,393
2.4	BENEF. SOCIALES	14,430,476	17 60K			195,429	562,833	578,470	578,470	680,905	703,544	703,544	826,819	826,819	852,070	852,070
2.5	PLAT. Y LUBRICANTES	3,074,875	3 75K			41,540	110,922	123,254	123,254	144,906	149,903	149,903	178,322	178,322	181,549	181,549
2.6	COMBUST. Y LUBRICANTES	1,510,124	1 84K			20,451	58,900	60,536	60,536	71,171	73,625	73,625	86,714	86,714	89,168	89,168
2.8	MAT. CONSUMIBLES	1,537,330	1 87K			20,870	59,991	61,827	61,827	72,623	74,951	74,951	88,275	88,275	90,773	90,773
	SUBTOTAL FLETES	25,553,321	31 16K			348,090	996,741	1,024,428	1,024,428	1,204,393	1,249,928	1,249,928	1,467,424	1,467,424	1,508,933	1,508,933
2.9	FLETES DE MAQUINARIA	1,208,099	1 47K			200,000		200,000		200,000						
2.10	EGRESOS DE TRASLADO POR EL	1,269,639	1 57K			117,432	50,261	31,637	31,637	60,732	62,826	62,826	73,996	73,996	76,090	76,090
	SUBTOTAL	2,496,728	3 04K			219,432	50,261	23,167	23,167	45,732	47,626	47,626	56,228	56,228	58,090	58,090
2.11	OBRAS TEMPORALES	1,812,149				250,000	350,000	450,000	125,000							
	TOTAL OBRA DIRECTA (B)	53,466,502	67 66K			1,100,540	2,398,334	2,733,198	2,222,168	2,872,878	2,237,943	3,012,658	3,012,658	3,012,658	3,067,933	3,067,933
	DIFERENCIA (C) (A-B)	28,543,267	32 34K	12,301,468	12,301,468	11,140,929	8,744,374	9,223,344	5,601,433	2,973,774	8,200,856	2,256,428	-746,250	3,770,368	-1,438,827	-4,334,781
4-	OFICINA CENTRAL															
4.1	DEPRECIACION MAQ. CONST.	17,643,446	21 52K					927,198	0	0	2,246,303	0	0	2,733,802	0	0
4.2	MAQUIN. OFIC. CENTRAL	3,209,190	4 04K					174,838	0	0	423,815	0	0	515,790	0	0
4.3	UTILIDAD E IMPUESTOS	3,540,050	8 77K					291,560	0	0	708,356	0	0	859,650	0	0
	SUBTOTAL (D)	20,522,687	32 34K					1,393,696	0	0	3,378,473	0	0	4,109,242	0	0
	INGRESOS ADJULGADOS	82,009,769	100 00K					4,309,290			14,749,233			27,433,015		41
	EGRESOS ADJULGADOS					1,100,540	3,335,894	6,310,992	6,330,289	11,210,968	11,768,911	10,325,254	19,339,342	22,332,231	21,450,184	23,348,137
						2K	6K	11K	15K	20K	25K	27K	33K	40K	46K	51K

FEVERO 1965

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
15.00X	20.00X	25.00X	30.00X	35.00X	40.00X	45.00X	50.00X	55.00X	60.00X	65.00X	70.00X	75.00X	80.00X	85.00X	90.00X	95.00X	100.00X	COPROBACION	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
09,290	1,640,033	10,440,033	12,705,742	1,905,891	1,270,574	9,529,504	3,770,268	-1,434,837	-4,324,781	3,182,704	-3,690,474	999,751	8,922,838	5,425,803	1,873,212	11,544,471	3,648,839	8,975,968	82,009,789
-6,394	1,266,005	1,044,005	7,820,025	2,266,428	-748,250	4,109,242	700,000	8,286,112	4,655,225	700,000	8,286,112	4,672,225	8,972,838	5,425,803	0	5,168,840	0	8,975,968	24,602,537
30,929	9,223,344	5,601,433	2,978,774	8,290,856	2,266,428	-748,250	3,770,268	-1,434,837	-4,324,781	3,182,704	-3,690,474	999,751	8,922,838	5,425,803	1,873,212	11,544,471	3,648,839	8,975,968	82,009,789
31,968	1,263,694	0	0	3,376,475	0	0	4,109,242	0	4,655,225	0	0	4,672,225	0	0	0	5,168,840	0	8,975,968	24,602,537
44,374	9,223,344	5,601,433	2,978,774	8,290,856	2,266,428	-748,250	3,770,268	-1,434,837	-4,324,781	3,182,704	-3,690,474	999,751	8,922,838	5,425,803	1,873,212	11,544,471	3,648,839	8,975,968	82,009,789
76,542	7,829,650	5,601,433	10,750,799	4,824,191	2,266,428	8,763,056	1,561,125	-1,434,837	8,250,858	-792,521	4,425,839	12,381,649	8,996,394	5,425,803	13,963,463	6,357,831	10,945,917	24,504,208	168,125,823
32,118	752,118	534,247	914,779	914,779	1,677,379	1,677,379	1,107,856	1,107,856	1,107,856	1,107,856	1,107,856	1,259,815	1,219,815	1,219,815	842,292	842,292	842,292	842,292	18,762,304
74,994	274,994	323,304	334,452	334,452	393,911	393,911	403,059	403,059	403,059	403,059	403,059	427,625	440,537	440,537	308,429	308,429	308,429	308,429	6,859,990
77,113	1,027,113	1,207,531	1,249,191	1,249,191	1,471,269	1,471,269	1,512,909	1,512,909	1,512,909	1,512,909	1,512,909	1,707,222	1,727,462	1,665,566	1,152,032	1,152,032	1,152,032	1,152,032	25,822,294
90,542	200,542	221,772	241,962	241,962	287,263	287,263	299,393	299,393	299,393	299,393	299,393	332,323	327,913	328,203	224,932	224,932	224,932	224,932	9,502,709
78,470	376,470	600,905	703,544	703,544	829,819	829,819	822,070	822,070	822,070	822,070	822,070	901,111	845,878	836,029	649,224	649,224	649,224	649,224	14,430,478
23,254	123,254	144,906	149,903	149,903	176,322	176,322	181,549	181,549	181,549	181,549	181,549	204,867	201,534	199,871	123,244	123,244	123,244	123,244	3,074,673
39,534	60,534	71,171	73,625	73,625	86,714	86,714	89,168	89,168	89,168	89,168	89,168	100,820	98,054	98,166	68,278	68,278	68,278	68,278	1,510,124
14,827	61,827	72,463	74,921	74,921	88,276	88,276	90,729	90,729	90,729	90,729	102,434	100,768	99,923	99,923	69,122	69,122	69,122	69,122	1,537,329
14,428	1,024,428	1,204,393	1,248,926	1,248,926	1,487,424	1,487,424	1,506,923	1,506,923	1,506,923	1,506,923	1,702,765	1,878,078	1,661,234	1,661,234	1,149,020	1,149,020	1,149,020	1,149,020	29,323,321
0,000	0,000	200,000	0,000	0,000	73,996	73,996	76,090	76,090	76,090	76,090	76,090	82,663	84,487	83,769	200,000	200,000	200,000	200,000	1,200,099
11,837	31,837	80,732	82,825	82,825	93,996	93,996	76,090	76,090	76,090	76,090	76,090	82,663	84,487	83,769	23,769	23,769	23,769	23,769	1,236,639
0,000	125,000	280,732	82,825	82,825	93,996	93,996	76,090	76,090	76,090	76,090	76,090	82,663	84,487	83,769	23,769	23,769	23,769	23,769	2,496,739
3,198	2,220,198	2,672,678	2,237,943	2,237,943	3,012,606	3,012,606	3,097,953	3,097,953	3,097,953	3,097,953	3,097,953	3,493,858	3,439,812	3,410,291	3,610,591	3,252,992	2,769,892	1,373,177	345,243
3,344	3,601,433	2,928,774	8,200,856	2,266,428	-748,250	3,770,268	-1,434,837	-4,324,781	3,182,704	-3,690,474	999,751	8,922,838	5,425,803	1,873,212	11,544,471	3,648,839	8,975,968	8,975,968	24,153,950
1,198	0	0	2,246,225	0	0	2,731,892	0	0	3,097,834	0	0	3,299,233	0	0	6,356,708	0	0	1,830,267	17,645,446
1,918	0	0	423,813	0	0	515,796	0	0	504,322	0	0	814,000	0	0	831,020	0	0	364,299	3,379,180
1,550	0	0	706,356	0	0	859,650	0	0	973,809	0	0	1,024,697	0	0	1,063,023	0	0	607,105	5,346,630
1,694	0	0	3,376,475	0	0	4,109,242	0	0	4,655,225	0	0	4,899,400	0	0	3,186,240	0	0	2,902,531	26,223,287
290	14,749,223	18X	27,453,685	32X	41,840,522	51X	56,898,134	62X	68,928,208	75,898,134	83,928,208	92,928,208	102,928,208	112,928,208	122,928,208	132,928,208	142,928,208	152,928,208	162,928,208
092	8,308,289	11,210,963	13,168,911	16,338,254	19,313,342	22,332,231	25,400,104	29,543,137	31,846,091	34,744,844	38,239,878	41,878,912	45,969,562	47,700,093	51,027,003	53,758,477	53,141,234	55,433,502	58,433,502
11X	18X	20X	23X	27X	32X	40X	45X	51X	57X	63X	69X	75X	81X	87X	92X	97X	99X	100X	100X

U. I. A. R.  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 TABLA 7  
 PROGRAMA PRESUPUESTAL  
 MONTELE HORNIG Y PRECALCULADOR  
 TESIS PROFESIONAL  
 CARLOS RANDALL VERA  
 SEPTIEMBRE 1967

ESTIMADO DE COSTO  
MONTAJE DE HORNO Y PRECALENTADOR

FORMULA DE ESCALACION

FORMULA DE ESCALACION:

$$PN = PA * (0.85 * (SMN / SMA) + K)$$

PN = PRECIO NUEVO REVISADO  
PA = PRECIO ANTERIOR  
SMN = SALARIO MINIMO NUEVO  
SMA = SALARIO MINIMO ANTERIOR  
K = FACTOR DE INDIRECTOS

U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA

TABLA 8

FORMULA DE ESCALACION

TESIS PROFESIONAL

CARLOS RANDALL VERA  
SEPTIEMBRE 1987

REVISIÓN SEMANAL NÚM. 9 ACTIVIDAD NÚM. DESCRIP		AVANCE	PROGRAMA INTEGRADO DE CONSTRUCCIÓN																		HOMES SEMANA		DEVIACION	PERO			
			SEÑ. A TERM.		1985																		PREVISTO	REAL	SEM PERIODO	REAL	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	M. S. P. ANT.	M. S. P. ANT.	SEM PERIODO	SEM PERIODO
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	K. S. TOTAL	K. S. TOTAL	...	...	...	...	
1 TOPOGRAFIA	P	100%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										18	81			-71	
2 MONTAR BASES Y BORNILLOS	P	100%	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1									18	121			-71		
3 TRASLADO Y ENSAMBLE DE VIROLAS	P	100%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									30	30			0		
4 ALINEAR VIROLAS	P	100%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									30	321			0		
5 SOLDAR VIROLAS	P	33%					0.25	0.25	0.25	0.25	1	1										108	20			0	
6 LIMPIEZA EPD DEL NORO	P	0%																				0	51			0	
INSTALAR DETRACTARIO Y PULIDAS	R	0%																				0	0			0	
8 PRENSAR VIGAS	P	100%					0.75	0.5	0.6	0.65	0.5											0	15			0	
9 ALINEAR PIANO DEL NORO	R	0%																				0	0			0	
10 DETALLES SIETEVA POTRIL	R	0%																				0	0			0	
11 SISTEMA HIDRAULICO LUBRICACION EN EPERS	R	10%						0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	101			-21		
12 DETALLES MECANICOS	R	0%																				10	151			-18	
13 FABRICACION Y MONTAJE PASILLOS ESCALDAR	R	47%	1	1	1	1	0.5	1	1	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	90	73			-13		
14 PUERTA EN MARCHA	R	0%																				10	151			-10	
TOTAL S. AVANCE	R	39%	38	88	148	198	248	308	378	438	498	538	578	628	668	728	788	848	918	938	1008	434	2081			-68	
TOTAL S. AVANCE	R	39%	38	78	118	158	198	238	278	328	368	398	398	398	398	398	398	398	398	398	398	0.39	531				







FIG. 2. GRAFICO INGRESOS EGRESOS MONTAJE HORNO

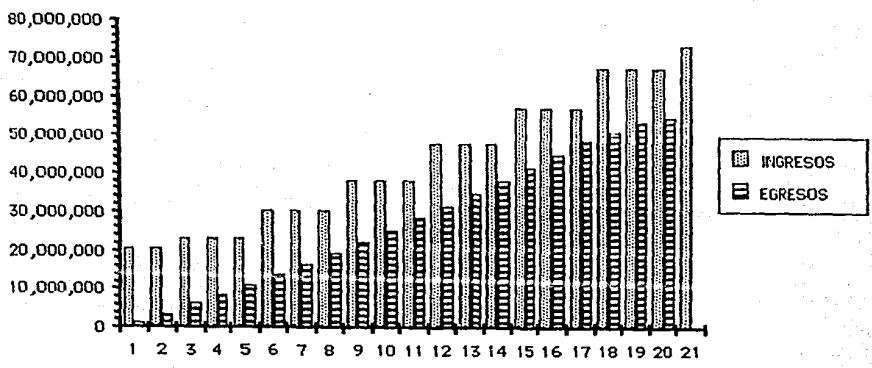
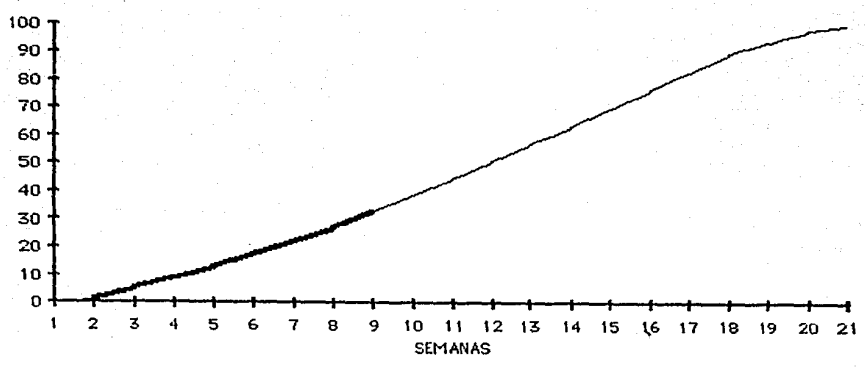
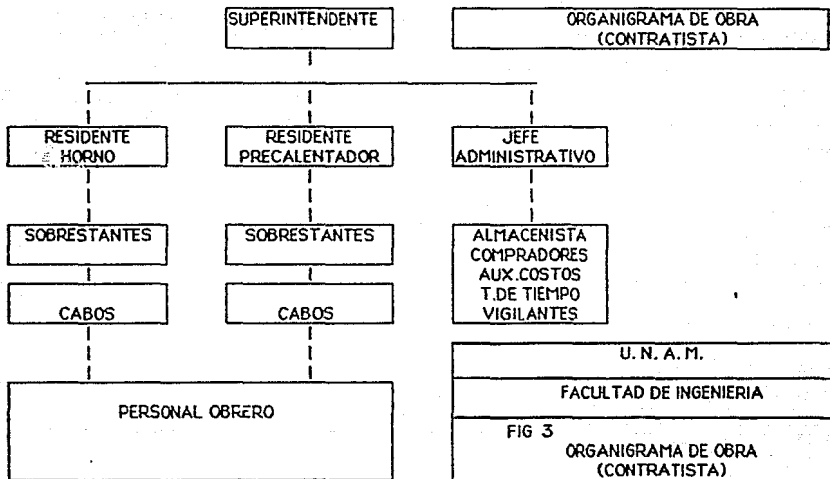


FIG. 4. GRAFICA AVANCE MONTAJE HORNO





U. N. A. M.  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 FIG 3  
 ORGANIGRAMA DE OBRA  
 (CONTRATISTA)  
 TESIS PROFESIONAL  
 CARLOS RANDALL VERA  
 SEPTIEMBRE 1987