

26  
2ej



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ARAGON"

"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO Y ANALISIS DE COSTO PARA UN SILO CIRCULAR DE 80.00 MTS. DE ALTURA, DE CONCRETO REFORZADO"

**T E S I S**

Que para obtener el Título de:

**INGENIERO CIVIL**

P r e s e n t a :

**JUAN SEGOVIA CORONA**

MEXICO, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1991.



## **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.

# CONTENIDO

## INTRODUCCION

### Capítulo 1. GENERALIDADES SOBRE SILOS

Definición y funciones	1
Materiales contenidos en silos	1
Clasificación de silos	1
Por su forma	2
Por los materiales de construcción	4
Importancia de los silos en la industria	10
Desarrollo de la construcción de silos	11
Ejemplos	11

### Capítulo 2. DATOS DEL PROYECTO EN ESTUDIO

Introducción	13
Proceso de elaboración del cemento portland	13
Uso y funcionamiento del silo	14
Localización del proyecto	15
Planos estructurales	15
Materiales de construcción del silo	19
Maquinaria y equipo auxiliar	25
Cuantificación de obra	33

### Capítulo 3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

La planeación dentro del procedimiento constructivo	34
Bases para determinar un procedimiento de construcción	35
Procedimiento general de construcción del silo	35
Excavación mecánica	35
Relleno compactado	40
Plataforma de cimentación	41
Muro columna central a N +112.300 e=900 mm	44
Muro silo a N +112.300 e=900 mm	45
Losas N +108.00 y N +109.300	45
Plataforma N +114.900	45
Muro silo a N +162.100 e=450 mm	47
"La cimbra trepante como sistema constructivo"	47
Presfuerzo muro silo e=450 mm	50
Fabricación estructura metálica N +163.300 y N +162.100	51
Cono de descarga	51
Montaje estructura metálica N +163.300	53

## CONTENIDO

Losa N -163.300	54
Columnas de concreto a N +171.550	55
Losa N +172.450	56
Muros interiores a N +182.100	56
Montaje estructura metálica N +182.100	57
Losa N +192.300	57

### Capítulo 4. ANALISIS DE COSTOS Y PRESUPUESTO

Objeto del analisis de costos	58
Costos directos	59
A. Costos de materiales	59
Análisis de costos por materiales	60
B. Costos de mano de obra	67
Análisis de salarios reales	67
Prestaciones y derechos	68
Factor de salario	73
Factor de zona	75
Factor de maestro	76
Valuación del costo por mano de obra	77
Análisis de costo por mano de obra	81
C. Costos de maquinaria	84
Costos fijos	85
Costos por consumos	87
Costos de operación	89
Valuación del costo por maquinaria	90
Análisis de costo por maquinaria	90
Costos indirectos	95
Gastos de administración en oficina central	96
Gastos generales y administración de obra	96
Financiamiento	96
Fianzas y seguros	97
Imprevistos	97
Utilidad	97
Integración de los costos ( Precios Unitarios )	98
Presupuesto	105

### Capítulo 5. PROGRAMA GENERAL DE OBRA

Objetivos de la programación	109
Antecedentes de programación	109
Programación por el método de la Ruta Crítica	111
Antecedentes históricos	111
Método C.P.M. ( Ruta Crítica )	111
1. Lista de actividades	112
2. Tabla de secuencias	113
3. Construcción diagrama de flechas	113
4. Valuación de tiempos ( Solución de la red )	115
5. Cálculo de Holguras	115
6. Diagrama de barras ó de Gantt	120
Aplicación de C.P.M. al programa de obra del silo	121

# CONTENIDO

## Capítulo 6. CONTROL DE CALIDAD

Aseguramiento de calidad en la obra	128
Responsables del control de calidad	130
Principales materiales de construcción del silo en los que se puso especial cuidado de su calidad	131
Material para el relleno en cimentación	131
Métodos de prueba	132
Métodos de control	139
Control de calidad en el concreto	141
Propiedades índice de los componentes del concreto	142
Del cemento portland	142
De los agregados ( arena y grava )	145
Del agua	149
Verificación de las propiedades del concreto fresco	150
Verificación de las propiedades del concreto endurecido	153
Métodos Estadísticos para la interpretación de resultados de acuerdo al ACI y NOM	157
Aplicación de métodos estadísticos para interpretación de resultados en el concreto del silo	162

## CONCLUSIONES

## BIBLIOGRAFIA

## INTRODUCCION

Uno de los campos de aplicación de la Ingeniería Civil, es el de la construcción; en éste, como en los demás, existe una búsqueda constante de métodos o alternativas de solución a las necesidades que, creciendo al parejo de la vida moderna, plantean problemas cada vez más difíciles de resolver.

El presente trabajo, tiene como objetivo mostrar las etapas más importantes en el proceso de construcción de un silo, en el cual se ha utilizado el método de la cimbra trepante como sistema constructivo. Este método, es relativamente nuevo y como se mencionó anteriormente, es resultado de la búsqueda incesante de alternativas de solución a problemas específicos o poco comunes.

En el desarrollo de esta tesis, se presentan algunas experiencias prácticas de construcción, dirigiéndose éstas principalmente al estudiante de Ingeniería civil, con la finalidad de ayudar a la formación de su criterio profesional.

En el capítulo 1, se describen de manera general la forma y los materiales de construcción de los silos; además, para silos de concreto reforzado, se destaca el método de la cimbra deslizante, tradicionalmente utilizado como sistema constructivo.

En seguida, se refieren las particularidades del proyecto en estudio y se presentan los planos estructurales más representativos, considerándose estos como base para iniciar el proceso de su construcción.

Realmente, el proceso de construcción se inicia con estudios de factibilidad técnica, como son los estudios de mecánica de suelos; sin embargo, este trabajo, da principio con lo que es la planeación de la obra, es decir, la selección del método para su

construcción; por ello, en el capítulo 3 se presentan, uno a uno, los pasos de dicho método, haciéndose a la vez la descripción de las actividades necesarias para llevarlos a cabo.

Posteriormente, se realiza el análisis de costo del proyecto, según el procedimiento de construcción empleado; determinándose de esta manera, su presupuesto. El análisis de costo puede considerarse como parte intrínseca de la planeación, al ser éste, una pauta para conocer la factibilidad económica del proyecto.

En el capítulo 5, se describe el objeto y la importancia que tiene el hacer una programación adecuada de los recursos necesarios para la construcción de la obra; se presenta también, de manera sencilla, el método de la ruta crítica aplicándolo al programa de obra del silo en estudio.

Finalmente se presentan los criterios básicos para asegurar el control de calidad de la obra y se aplican, a ésta, algunos de los ya establecidos por organismos reconocidos tales como: el ACI, ASTM, SOP, SAPH, etc., entre otros.

Dada la variabilidad en las características de los materiales utilizados en el relleno para la cimentación y en los materiales para concreto, de los empleados en la construcción del silo, son los materiales en los que se hizo énfasis para el control de su calidad.

## CAPITULO UNO

### GENERALIDADES SOBRE SILOS

#### DEFINICION Y FUNCIONES

Los silos son estructuras especiales destinadas a almacenar grandes volúmenes de material, que en su generalidad es del tipo granulero o pulverulento, a la vez que, por su forma y dimensiones facilitan el manejo del material que contienen.

No obstante que la función principal de los silos sea el de almacenar algún material, existen estructuras que se han construido especialmente para realizar una función específica; como es el caso del proyecto que nos ocupa y del cual se dará, más adelante, una amplia explicación.

Existe otro tipo de construcciones semejantes a los silos, pero solo en la forma y aunque hay algunas de dimensiones considerables, se distinguen principalmente porque son destinadas a contener líquidos, en este caso, estamos hablando de recipientes llamados tanques o depósitos.

#### MATERIALES CONTENIDOS EN SILOS

La utilización de este tipo de estructuras es muy variada en cuanto al material que se ha de almacenar; por ejemplo, podemos mencionar algunos cereales como: girasol, trigo, maíz, arroz, avena, soya, etc. o las harinas provenientes de algunos de ellos.

Se pueden almacenar también materiales como cemento, o los que se utilizan durante su elaboración y otros materiales más raros como son cenizas, en el caso del proyecto termoeléctrico de Río Escondido en Coahuila, Mex., por ejemplo.

#### CLASIFICACION DE SILOS

Podemos hacer una clasificación general de silos en base a la



trayectoria que ha seguido su construcción a nivel mundial; de ésta manera, se pueden clasificar por la forma de la estructura y los materiales utilizados para su construcción.

Por su forma

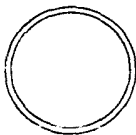
En términos generales, las formas de estas estructuras casi siempre son definidas por el proyectista ó por el propietario; en el caso del primero, tiene bajo su responsabilidad coordinar el uso, la capacidad, la altura y desde luego el material de construcción más adecuado a éstas necesidades, por lo que aquellas, quedan definidas por las características del material a contener.

Dentro de las formas más comunes se pueden mencionar las siguientes:

#### Silos Cilíndricos

Es obvio que la forma en planta, de éstos silos, está definida por circunferencias y pueden estar dispuestos en forma unitaria, por pares ó más elementos, en cuyo caso, reciben el nombre de silos multicelulares. La figura 1.1 muestra en planta la forma de estas estructuras.

Fig. 1.1

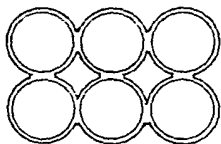


A. Silo unicelular

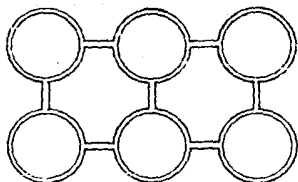


B. Silo multiple simple

Fig. 1.1



C. Silo multicelular de paredes tangenciales.



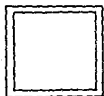
D. Silo multicelular con paredes de unión.

En ocasiones, los tipos de distribución de las formas C y D, también reciben el nombre de silos en batería.

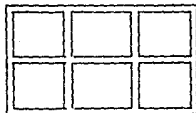
#### Silos Cuadrados y Rectangulares

Al igual que la forma anterior, pueden estar dispuestos de manera unitaria ó en conjunto. La figura 1.2 muestra la disposición para este tipo de silos.

Fig. 1.2



A. Silo cuadrado



B. Silo rectangular múltiple.

Para el tipo de silos cuadrados, en el caso múltiple, ya no recibe el nombre de silo multicelular por no disponer en su interior

de espacios adicionales llamados intersilos o interceldas.

### Silos Hexagonales y Octagonales

La forma de este tipo de silos favorece la formación de las interceldas, beneficiándose de gran manera las industrias que tienen el problema de almacenar cantidades sobrantes de producto, durante el vaciado de las celdas principales, al intentar almacenar un nuevo producto. En la figura 1.3 se muestran estas formas.

Fig. 1.3



A. Silo octagonal unicelular



B. Silo octagonal multicelular



C. Silo Hexagonal multicelular

Por los materiales de construcción

De acuerdo al material con que han de construirse, los silos se pueden clasificar en:

### Silos de Madera

Hacia 1882 en EEUU se construían celdas cuadradas de madera, de 3.0 m de lado y 15.00 m de altura; la madera utilizada era de la misma calidad que aquella con la que se construían los barcos, a la vez que proporcionaba resistencia, era ligera. Estos primeros silos, contruidos para el almacenamiento de cereales, se realizaban mediante la unión de tablones, hasta darle un espesor de 20 cm de ancho en función de la dimensión de la celda; a medida que se incrementaba la altura, el espesor de la pared se iba disminuyendo.

En la actualidad, este tipo de material es poco usual y sólo

se destina a aquellas estructuras de poca capacidad como las que podría utilizar un granjero.

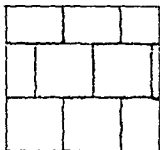
Por otro lado, el peligro de incendio hizo rápidamente cambiar el material de construcción, por otro que satisficiera las necesidades de la creciente demanda de estructuras con mayor capacidad y seguridad.

### Silos Metálicos

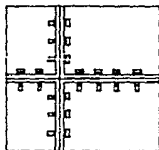
#### a. Silos de placa lisa.

Este tipo de silos normalmente son unicelulares y su construcción que inicialmente era soldada, ha pasado a ser, a partir de los años sesenta, atornillada.

La utilización de estas estructuras, desde el punto de vista económico, está condicionada por usarse en diámetros menores a 10 m y alturas máximas de 20 m, con muy poca capacidad.



A. Placa soldada



B. Placa atornillada a tope

Fig. 1.4 Silos de Placa lisa

#### b. Silos de placa ondulada.

También estos silos, en general, se construyen de manera unicelular; normalmente, la placa es galvanizada y la unión entre ellos es atornillada, como lo muestra la figura 1.5

c. Silos de placa con plegado trapecial.

Esta es una nueva concepción de silos y se ha extendido, de forma decisiva, en los más diversos campos de la industria.

Este tipo de silos se construyen en taller mediante paneles prefabricados, que son transportados al lugar de ubicación de la obra y se montan utilizando la unión mediante tornillos, figura 1.5

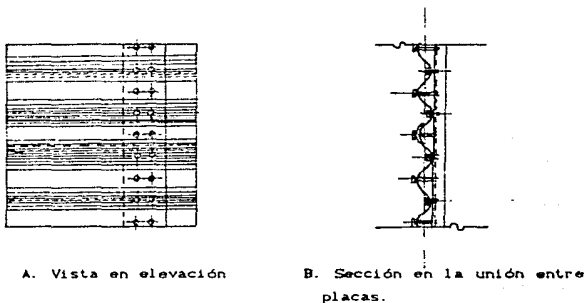


Fig. 1.5 Placa ondulada para la construcción de silos cilíndricos atornillados.

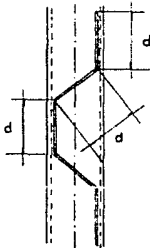


Fig. 1.6 Perfil de placa trapecial

## Silos con elementos prefabricados de concreto

### a. Prefabricados en forma circular.

Son estructuras que se prestan particularmente para el almacenaje de forrajes, los silos de este tipo tienen 9 m de diámetro y 30 m de altura máximo. Su construcción se lleva a cabo a base de pequeños elementos prefabricados de concreto, provistos de un racord hembra y otro saliente en sus juntas verticales. Las primeras filas de estos elementos, o sea, en la base del silo inmediata a la cimentación, están retenidas por unos zunchos montados en su exterior.

Para el montaje del silo, se utiliza un andamiaje sostenido por un mástil central y se dispone, así mismo, de una grúa para izar los elementos prefabricados.

### b. Silos cuadrados con prefabricados de concreto.

Algunos silos de concreto reforzado han salido defectuosos y por consecuencia han fallado; la principal causa de estas fallas fue la corrosión del acero. Las condiciones atmosféricas provocan grietas por contracción o por tensión y finalmente la corrosión.

Con el propósito de disminuir estas desventajas, se ha optado por la prefabricación y en la actualidad, se construyen silos con grandes elementos prefabricados de concreto. Estos elementos se producen en moldes de acero, de manera industrial.

Construir elementos prefabricados tiene las siguientes ventajas: al colocar el acero de refuerzo, en la posición correcta, se tiene un recubrimiento de concreto uniforme, se evitan las grietas por contracción o por tensión, se necesita poco personal para la producción y el ensamble, se puede hacer un excelente trabajo en los puntos de conexión, se logra incrementar la resistencia del concreto, con una elevada resistencia al desgaste y se tiene un tiempo de producción muy corto, reflejándose éste, en el período de construcción de la estructura.

Usando los métodos de construcción adecuados, el ensamble es estructuralmente inobjetable, ya que, en los puntos de unión de los elementos se aplica una lechada, una vez ensamblados, sin necesidad de obra falsa adicional.

Todos los componentes como cubos de elevadores y escaleras, techos y cubiertas de los mismos, se pueden producir por prefabricación.

En la figura No. 1.7 se muestran las uniones de elementos prefabricados en silos para granos.

### **Silos de concreto reforzado**

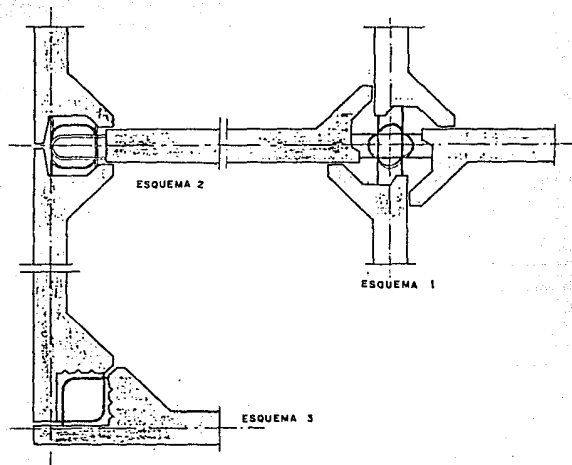
Por las propiedades que en conjunto proporcionan por una parte el concreto y por otra el acero de refuerzo, es el tipo de construcción que, normalmente, se ha venido utilizando para resolver de una manera bastante segura el problema de silos, en los que se requiere de una estructura que por condiciones de espacio y funcionamiento, es necesario hacer que su altura sea considerablemente mayor a su base, sin importar la forma en que ésta esté definida.

Además es característico que, en la forma que conocemos como multicelular, éstos tengan una gran capacidad de almacenamiento.

Una de las técnicas más difundidas para la construcción de silos con este tipo de materiales, es la que se conoce con el nombre de cimbra deslizante o móvil.

A continuación, de manera resumida, daremos una breve explicación de las características y componentes principales de esta cimbra:

La cimbra utilizada en este método puede ser considerada de tipo mixto, ya que está compuesta por módulos de forma curva ó plana, siendo de esta manera factible adaptarla a las formas comunes de los silos.



- ESQUEMA 1: UNION DE LOS MUROS CON DIVISIONES.
- ESQUEMA 2: CONEXION DE MUROS EXTERIORES CON MURO INTERIOR.
- ESQUEMA 3: CONEXION EN ESQUINA DEL MURO. EXTERIOR.

Fig. 1.7 Union de elementos prefabricados para sitios cuadrados - vistas en planta -



También, se considera mixta en cuanto al material que se utiliza en los elementos que la conforman, una parte de madera (paneles recubiertos con placa delgada galvanizada, plataformas de trabajo y entramados portantes) y otra metálica (yugos, barras de apoyo y elementos de suspensión de las plataformas).

La maniobra para el desplazamiento se consigue mediante dispositivos de elevación con mando hidráulico; para el caso de un silo multicelular, en el que se tengan que construir forzosamente varias celdas a la vez, el mando debe ser centralizado. Dada las formas comunes de los silos y el hecho de que estos mantengan uniformes sus dimensiones, facilitan que este tipo de cimbra sea de sección constante y se logre un deslizamiento uniforme durante el vaciado del concreto, el cual debe ser continuo; de tal manera, que la estructura alcanza un estado monolítico casi perfecto gracias a este sistema.

En el arranque mismo de la obra, este sistema precisa de que inicialmente, el vaciado del concreto sea total a una altura de 1.0 m y en todo el perímetro por deslizar, empleando para ello una cimbra fija; esto es necesario, porque la vaina de la barra de apoyo debe quedar embutida en una longitud mínima de 1.0 m.

La cimbra deslizante, empleada en la ejecución de silos, se compone de las partes siguientes:

Cimbra propiamente dicha: Constituida por paneles, que se ensamblan en el lugar donde ha de ser vertido el concreto, y que son los que rodean la celda en toda su sección horizontal.

Yugos: Mantienen los paneles de la cimbra en la posición correcta, contrarrestando la tendencia a la separación bajo el empuje del concreto fresco. Al mismo tiempo sirven para izar, a los paneles, al poner en marcha los dispositivos de elevación.

Dispositivos de elevación: Estos son gatos hidráulicos que, sujetándose sobre las barras de apoyo, arrastran hacia arriba toda

la cimbra en conjunto.

Barras metálicas de apoyo: Reciben a través de los gatos todo el peso de la cimbra, transmitiéndolo directamente a la cimentación.

Plataformas de trabajo: Están dispuestas en forma escalonada; la plataforma superior conectada directamente a los paneles de la cimbra y la inferior colgada de la anterior mediante cables de acero. Las dos tienen funciones diferentes, la superior sirve para el acopio de materiales y su colocación, colocar las armaduras, transporte y vaciado del concreto, etc.; mientras que la inferior se utiliza para vigilar y retocar, en caso necesario, el concreto que queda a la vista al desplazarse la cimbra, también se utiliza para el curado del concreto.

Entramados-soportes: Soportan las instalaciones tanto eléctrica como hidráulica, van montados sobre los yugos, formando una serie de elementos longitudinales que pasan de un entramado a otro; es un sistema especial, que sigue el trazo o forma de las paredes del silo y sirve de guía a las armaduras.

Dispositivos diversos: Como los separadores de armaduras, se colocan en la parte alta de los paneles de la cimbra y permiten la correcta colocación de los mismos durante el deslizamiento.

En la figura 1.8 se presenta, en esquema, una sección tipo de la cimbra deslizante.

## IMPORTANCIA DE LOS SILOS EN LA INDUSTRIA

Dadas las particularidades de los silos, encontramos que las industrias más beneficiadas han sido la industria alimenticia y la cementera y que, en gran medida, las autoridades gubernamentales de una buena parte del mundo, han solucionado la problemática de tener, sitios apropiados para resguardar la producción nacional de cereales en algunos ó acoger los productos importados en otros, encontrándose también, que tales estructuras han solucionado el gran problema de

**CIMBRA DESLIZANTE  
SECCION TIPO**

1 Cimbra

2 Yegoz

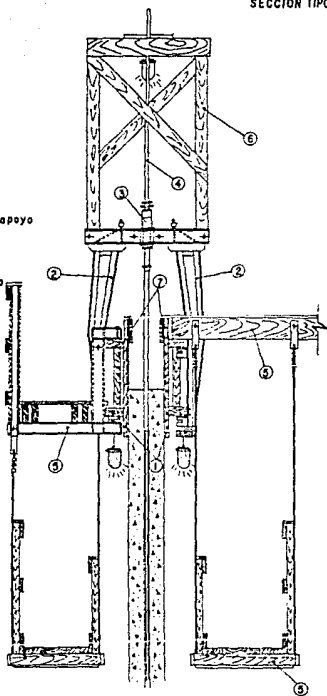
3 Dispositivos de elevación

4 Barras metálicas de apoyo

5 Plataformas de trabajo

6 Entramados

7 Dispositivos diversos



En este tipo de cimbra se requiere que la colocación del refuerzo sea casi simultánea al deslizamiento.

Fig. 18

la distribución y racionalización de granos en algunos países.

#### DESARROLLO DE LA CONSTRUCCION DE SILOS

Casi en la mayoría de los países del mundo ha sido necesaria la construcción de este tipo de estructuras, por lo que existe una infinidad de ellas, en las formas más variadas, materiales distintos y diferentes técnicas de construcción, que van siendo adaptadas a la capacidad tecnológica según el desarrollo de cada país. No obstante, en países donde no se ha logrado un avance competente para la construcción de silos, es conocido que se han realizado grandes estructuras mediante al apoyo de empresas constructoras extranjeras, ya sea que participen directamente o sólo como asesoras en la realización de dichas estructuras. Esto a propiciado el intercambio tecnológico, tanto en equipo como en conocimientos a nivel mundial, coadyuvando al desarrollo general de la Ingeniería Civil.

#### Ejemplos:

Debido a la cantidad tan grande que existe en silos construidos, sólo mencionaremos algunos:

“Entre 1970 y 1971 fueron construidos en San Pedro Sula y Tegucigalpa Honduras, 18 silos; con ésta obra que permite acumular 15 000 ton de cereales, se solucionó el problema de almacenamiento de granos y al mismo tiempo contribuyó al control de las importaciones y los precios dentro de Honduras.”<sup>1</sup>

“Las baterías de silos, construidas en el puerto industrial Lázaro Cárdenas en Michoacán, Mex., en la desembocadura del Río Balsas, sirven para almacenar granos y se consideradan como las más grandes de México; están compuestas por 12 silos cada una, teniendo 50 m de altura y 10 m de diámetro cada silo, con 6 intersilos de 13

<sup>1</sup> Revista Mexicana de la construcción C.N.I.C. No. 750/76 p.15. Ed. Alipform  
Agoosto de 1974.

m de largo y 10 extersilos de 5 m de radio."<sup>2</sup>

Otro ejemplo, el cual ya se había mencionado antes, es:

"El proyecto termoelectrico de Rio Escondido en el estado de Coahuila, Mex., que consta de 4 silos de 42 m de altura. El servicio que prestan estas estructuras es el de humidificar y retener las cenizas provenientes de un generador de vapor, el cual utiliza como combustible carbón de alto contenido de cenizas."<sup>3</sup>

"Una obra digna de mencionarse, es la bateria de silos para granos en la division de Naantali, Finlandia; que está compuesta por 32 silos, unidos tangencialmente, con una capacidad de 30 000 ton; se construyó, incluida la torre del elevador, en concreto reforzado y al igual que los ejemplos anteriores, con la ayuda de la cimbra desizante."

<sup>2</sup> Revista Grupo ICA No. 28 pag. 8 Marzo-Abril 1983.

<sup>3</sup> Revista Grupo ICA No. 40 pags. 22-24 Marzo-Abril 1983.

## CAPITULO DOS

### DATOS DEL PROYECTO EN ESTUDIO

#### INTRODUCCION

En 1906, existían en México tres fábricas de cemento portland, cuya producción anual era de 20 000 ton aproximadamente, para 1975 existían ya 28 fábricas que incrementaron la producción a 13'650,000 ton por año, en los últimos 15 años la producción se incrementó en un 70% siendo ahora de 23'330,000 ton aprox.

Esta industria es una de las principales para el desarrollo económico del país y dado que la creciente demanda debe ser satisfecha con un producto de calidad, empresas como la sociedad cooperativa productora de cemento portland "La Cruz Azul, S.C.L." que se preocupan por este motivo, ha tenido la necesidad de realizar una ampliación en su planta de Cd. Coop. Cruz Azul al sur del estado de Hidalgo.

Debido a que el proyecto que ocupa nuestro estudio, es parte de la mencionada ampliación, como marco de referencia, se hará una breve explicación de proceso de producción del cemento cruz azul para explicar el fin utilitario de la estructura.

#### Proceso de elaboración del cemento portland

##### Extracción, trituración y molienda de materia prima

Dentro de los materiales que principalmente son utilizados, están la caliza y la pizarra, que son minerales calcáreos y arcillosos; su extracción se hace a cielo abierto mediante explosivos, formándose galerías o bancos de 20 a 30 m de altura. Más adelante, materiales silicosos y de hierro son utilizados, en cantidades menores, como correctores.

Durante la extracción de caliza y pizarra se obtienen grandes

trozos de material, por lo que mediante trituración primaria y secundaria, este es reducido a un tamaño máximo de 4 plg. de Ø. El material, así obtenido, es acarreado hasta la fábrica mediante unidades de transporte.

Tanto la hematita, subproducto de la fundición del hierro, como la sílice, no necesitan reducirse a tamaños menores por lo que, de este modo, toda la materia prima pasa a ser almacenada en tolvas. Mediante bandas transportadoras y previa dosificación, estos materiales alimentan los molinos de crudo, cuya función es la de reducir el tamaño de la partículas hasta la finura requerida.

#### Homogeneización, calcinación y molienda de clinker

El polvo crudo, producto de los molinos, es sometido a un proceso de homogeneización, llevándose éste a cabo dentro de un silo, para lo cual, se utiliza aire seco como dispersor. Este método es comúnmente conocido como proceso por vía seca.

Una vez homogeneizada la mezcla cruda, es sometida a calcinación dentro de un horno y, para ser acelerada, se somete a un precalentamiento mediante suspensión de gases; a unos 1400 °C de temperatura se forman nódulos verdosos, compuestos por aluminatos, ferroaluminatos y silicatos de calcio, comúnmente llamados clinker.

La molienda de clinker y yeso, previamente dosificados, hasta obtener la finura requerida, dan como resultado el cemento portland.

#### Uso y funcionamiento del silo

Para obtener un cemento de calidad buena y uniforme, se requiere de un clinker química y físicamente homogéneo y para lograr esto, es necesario someter la mezcla cruda a un proceso físico de homogeneizado: función principal del silo, sin embargo, dados los volúmenes que se requieren para alimentar un horno como el que se implementará, también servirá para almacenamiento de material crudo. A grandes rasgos, el funcionamiento del silo es el siguiente:

En la parte más alta del silo, se dispondrá de unos compartimientos (ver plano No. 1), en los que el material es recibido en forma de polvo; mediante el uso de equipo neumático, el polvo es vigorosamente reciclado dentro de éstos; posteriormente, unas compuertas dejan caer libremente el material, hasta el fondo del silo, en esta etapa la dispersión de las partículas al caer, provocan cierta homogeneización, pero esta se realiza realmente, dentro de la cámara que se encuentra bajo el cono de descarga en el fondo del silo. Una vez aquí, y con el fin de introducirlo dentro de la cámara, se aplica aire presurizado a los deslizadores, que se encuentran en la parte superior de la plataforma N +112.300.

#### Localización del proyecto

En el plano L-A se presenta un croquis de localización del lugar donde se desarrolló el proyecto.

#### PLANOS ESTRUCTURALES

El fin que persiguen los planos en el proyecto de toda estructura, es el de proporcionar la información necesaria para que el constructor pueda ejecutar la obra, de acuerdo a las consideraciones hechas por el proyectista; de la claridad y calidad con que se transmita la información, mediante ellos, dependerá la seguridad y la respuesta de la estructura durante su funcionamiento. Así mismo, quien la construye, deberá tener los conocimientos necesarios y suficientes para la interpretación de los mismos y apegarse a todas las especificaciones, que en estos se indiquen; quedando bajo su entera responsabilidad, fallas por utilización de procedimientos de construcción inadecuados, materiales de baja calidad ó desapego a lo especificado.

A continuación, se presentan los planos más representativos de la estructuración del silo, del proyecto en estudio, y se da una brevísima explicación de la información que contienen:



## Plano 1

La información principal, que en conjunto se encuentra en este plano, es la forma y dimensiones generales de toda la estructura; se puede observar que la cimentación está formada por una plataforma de concreto de 3.50 m de espesor, de forma circular y 31.0 m de  $\emptyset$ . Está desplantada sobre un relleno compactado de 5.20 m de espesor, entre ellos se encuentra una plantilla con espesor de 10 cm, ésta, tiene la función de separar a la cimentación del terreno, sobre todo cuando se desplanta sobre el terreno natural, pero sirve también para trazar, en ella, la forma en planta de toda la cimentación, asegurándose con esto, la correcta colocación del acero de refuerzo.

Se aprecia también, que desde el N +102.300 los muros del silo tienen un espesor de 0.90 m hasta el N +112.300, donde apoya sobre ellos una losa de forma cónica que remata en una columna central de 5.40 m de  $\emptyset$ , entre estos dos niveles se ven entrepisos de concreto, la columna central está rematada por una tapa cónica de concreto. Se observa, también, que desde el N +114.900 hasta el N +182.100, el espesor de muros es de 0.45 m resultando que el silo tenga 20.0 m de  $\emptyset$  interior.

En la sección C-C se observan 4 contrafuertes, cuya utilidad se verá más adelante, estos tienen una posición opuesta entre sí. En el N +163.300 se ve un segundo entrepiso de concreto, que apoya sobre un entramado formado por vigas de acero estructural de sección I. En la sección B-B se observa la forma en que el entramado se ha dispuesto y una serie de huecos de forma circular y cuadrada, que habrán de dejarse en esta losa.

En el N +172.450 se halla un tercer entrepiso con un espesor de 0.90 m sobre el que apoyan 7 compartimientos, formados por muros de concreto, de 30 cm de espesor, que terminan en el N +182.100.

Los entrepisos del N +163.300 y N +172.000 están prácticamente

suspendidos de los muros del silo, mediante tirantes formados por perfiles de acero estructural de sección I.

Finalmente, la tapa es una losa de concreto de 20 cm de espesor, apoyada en los muros del silo y en un entramado formado por vigas de acero, dispuesto, de manera similar al del N +163.300.

## Plano 2

En este plano, que a su vez se complementa con el 2-A y 2-B, encontramos la información de diámetros, longitudes, traslapes, forma y colocación de las varillas para el refuerzo de la cimentación.

La planta general está dividida en dos secciones, en la de la derecha se muestra la disposición del refuerzo que va, por decirlo así, en el lecho inferior de la losa de cimentación, y en la sección izquierda se presenta de igual manera el refuerzo que va en el lecho superior de la losa. Así mismo, se indica un detalle de la posición de las capas que conforman el refuerzo del lecho inferior.

## Plano 2-A

Este plano, prácticamente completa la información para la mayor parte del refuerzo de cimentación; muestra la sección A-A indicada en el plano 2, en el que se aprecian nuevamente las capas de acero que forman los dos lechos y a la vez el refuerzo utilizado (silletas) para soportar el lecho superior, varillas números 33 a 36, su posición se señala en el plano 2. Así mismo se observa la disposición del refuerzo de unión, de los muros y la columna central con la cimentación, varillas números 69 a 75. El diagrama que muestra la longitud de varillas de la 1 a la 10, donde se indica un número sobre otro, quiere decir que las dos son de igual longitud pero colocadas en distinta capa, inmediatamente arriba se señala la capa en que cada varilla deberá ser colocada.

### Plano 2-B

La información que contiene este plano practicamente es la misma que para el plano 2, por lo que, para su interpretación se debe seguir el mismo criterio.

Algo que debemos hacer notar en la disposición del refuerzo de cimentación, es que precisamente en toda la zona central, tal disposición difiere de la de la zona perimetral ya que, en este caso, las varillas mantienen ortogonalidad entre si y para el resto, su disposición es radial y anular desde el perímetro hacia el centro.

### Plano 3

Aquí, se indica el refuerzo tanto de los muros como de los contrafuertes y además, la disposición del refuerzo para las puertas I y II y el hueco ( vista ) III, que son similares al de la vista II. El plano 3, está complementado con con los planos 3-A y 3-B, de la siguiente manera, el corte D-D aparece en el plano 3-A, donde a su vez, están indicados los cortes A-A y B-B, que se muestran en el plano 3.

### Plano 3-A

El plano 3-A, que indica el corte D-D del plano 3, muestra la disposición del refuerzo a todo lo alto del silo; se ha presentado de esta manera (en tres secciones de 0-1, 1-2 y 2-3) debido a que se ha tratado de que, en él, permanezcan con claridad los detalles indicados, tanto de refuerzo, como los particulares (detalle I).

Este plano, se complementa con el siguiente:

### Plano 3-B

En él encontramos las vistas del refuerzo, tanto de la cara interior de los muros como el de la cara exterior, ya acoplados, y en toda su longitud; sirve principalmente para checar la colocación indicada en los planos 3-A y 3.

Se aprecian, con más detalle, la longitud de las piezas verticales y la distancia alternada donde se van haciendo los traslapes ó acoplamientos.

También se muestra el detalle I donde se indica el tipo de anclaje para la losa del N +163.300.

#### Plano 4

Este plano contiene la información para la colocación de la tubería del pretensado, en el corte A-A, se ve la disposición y separación que deben llevar estos ductos, dentro de los muros del silo; en el corte B-B, así como inmediatamente abajo, se muestran los elementos (números nones ó pares) que forman cada anillo de los mostrados en A-A, es decir, cada anillo se compone de dos cables con una longitud de 34.20 m, ya tensado. Además, el anillo siguiente se ancla en una posición de 90° con respecto al otro, según se muestra en este plano.

También, indica las separaciones que debe tener, el ducto del cable para el hueco del detalle III y en ese mismo detalle, se observa como el cable que ancla en un contrafuerte, en el siguiente pasa de largo, hasta el contrafuerte opuesto a él, donde también es anclado.

#### Plano 4-A

Se muestra el detalle II, indicado en el plano 4 y que contiene la información relativa al anclaje de cada anillo en el contrafuerte que les corresponde.

#### MATERIALES DE CONSTRUCCION

La importancia de contar con los planos definitivos del proyecto, estriba principalmente en que en ellos se encuentra la información necesaria para conocer la totalidad de los materiales

que serán empleados en su construcción, así como las especificaciones que se deberán cubrir para la correcta realización del mismo.

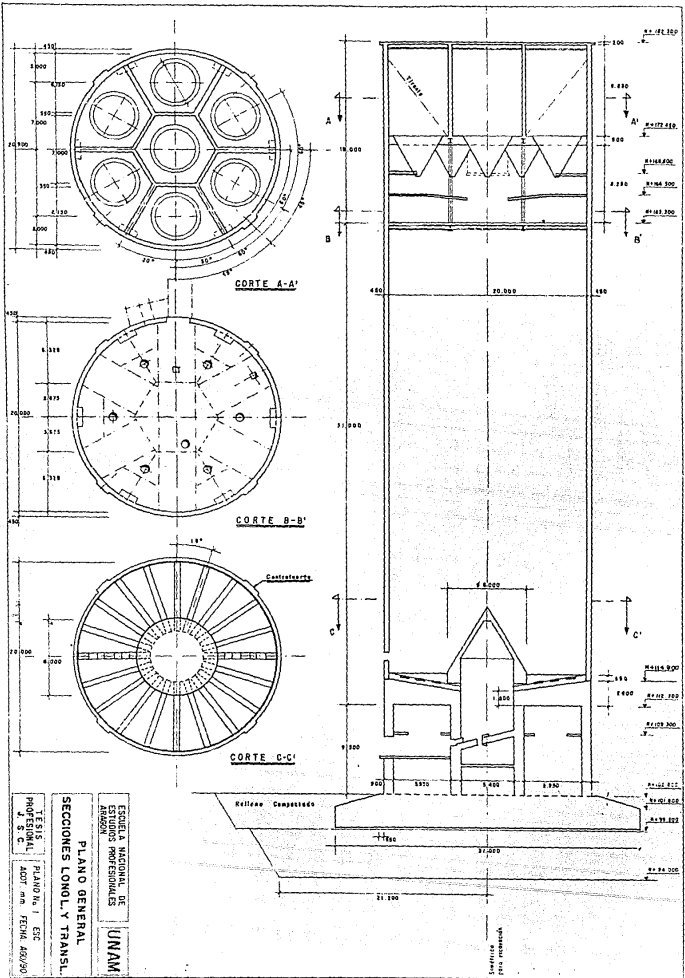
El hecho anterior implica, de manera única, poder determinar las cantidades suficientes de los materiales; así como prevenir, con la debida anticipación la adquisición de los mismos, con el fin de evitar, que una vez iniciada la obra, se tengan contratiempos innecesarios por falta de éstos. Ello redundará, irrefutablemente, en aspectos importantísimos, como cumplir con el programa de obra establecido y mantener bajo control el costo de la obra, ya que, tanto el costo de los materiales como de la mano de obra, son susceptibles de aumentos inesperados.

Los materiales básicos empleados en esta obra, y que toman importancia, debido a que prácticamente toda la estructura está formada por ellos, son el concreto y el acero de refuerzo; aunque, también, se utilizaron otros no menos importantes, como el acero estructural, acero en placa, soldadura y otros más, de los cuales se hará referencia según se presente el procedimiento constructivo en el capítulo 3.

## Concreto

El concreto es un material artificial que resulta de la combinación de tres elementos básicos: agregados pétreos (arena y grava), cemento portland y agua; éstos son mezclados íntimamente, en cantidades predeterminadas, dando como resultado un material cuya característica esencial es su larga vida bajo mantenimiento reducido; siendo el único material artificial que aumenta su resistencia con el tiempo, siempre y cuando se hallan utilizado para su obtención, los elementos adecuados a las características deseadas en él, así como la correcta fabricación, tranportación, colocación y curado del mismo.





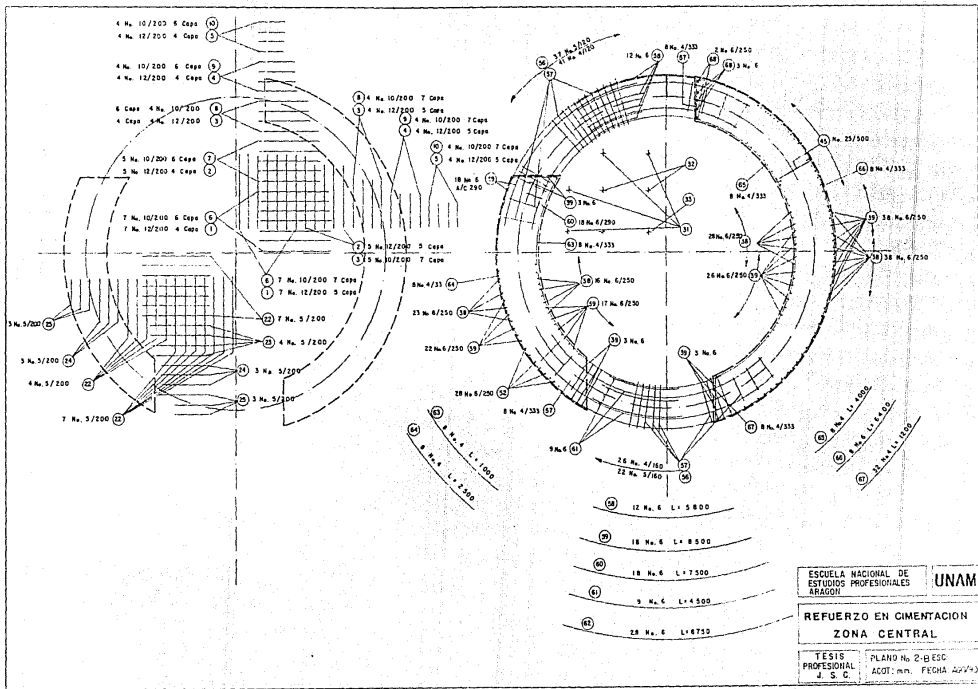
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AMBON  
 SECCIONES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES  
 UNAM  
 TESIS PROFESIONAL  
 PLANO No. 1 ESC  
 A.D.T. m. FECHA: 06/09/90

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO





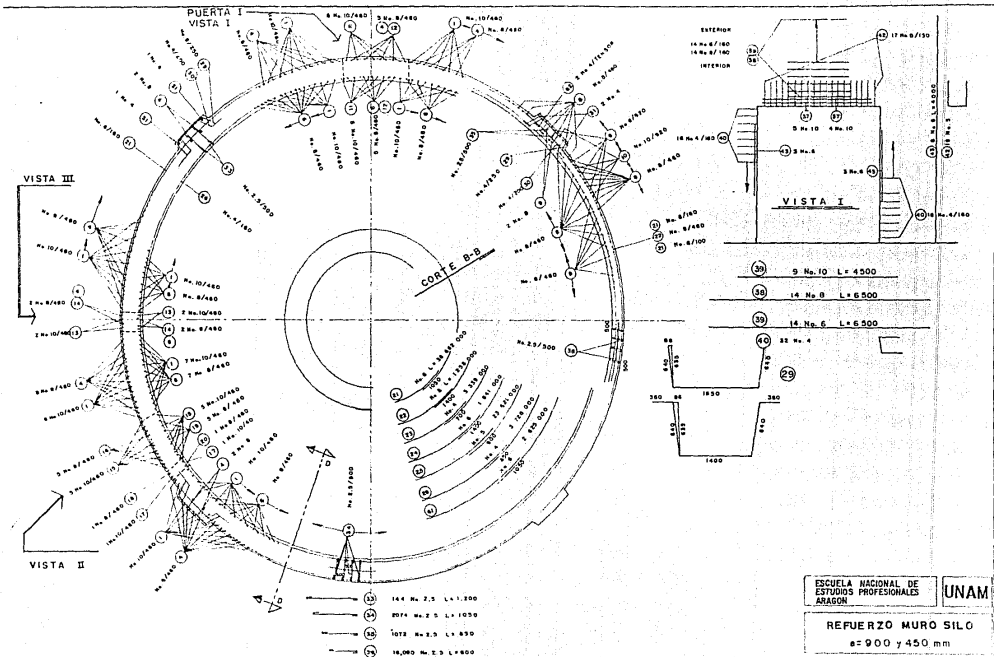




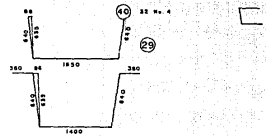
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES RAIGOH UNAM

REFUERZO EN CIMENTACION ZONA CENTRAL

TESIS PROFESIONAL J. S. C. PLANO No 2-B ESC ACOT: mm. FECHA 20/2/83



39	9 No. 10	L = 4500
38	14 No. 8	L = 6500
39	14 No. 6	L = 6500

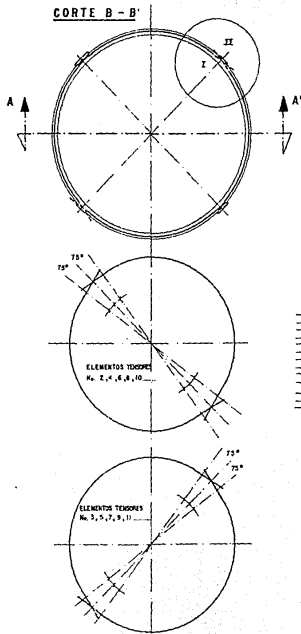
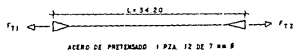
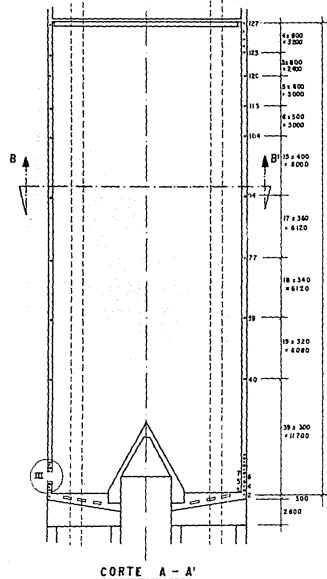


- 144 No. 2.5 L = 1.200
- 2074 No. 2.5 L = 1050
- 1072 No. 2.5 L = 850
- 14,000 No. 2.5 L = 800

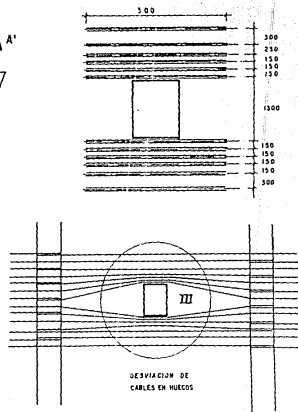
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON	<b>UNAM</b>
<b>REFUERZO MURO SILO</b> ø = 900 y 450 mm	
TESTS PROFESIONAL J. S. C.	PLANO No. 3 ESC. ADOF. mm. FECHA: 26/3/50







DETALLE III



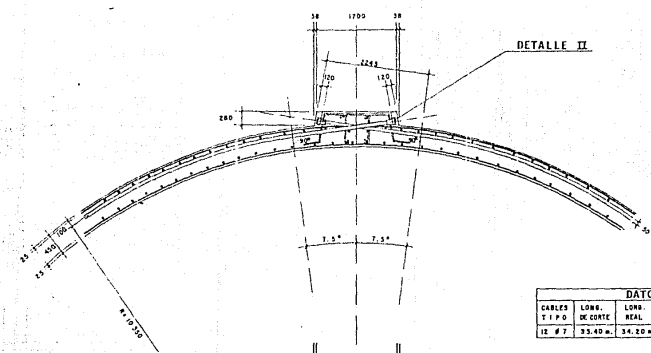
ESCUELA NACIONAL DE  
 ESTUDIOS PROFESIONALES  
 ARAGON

UNAM

SISTEMA DE PRETENSADO

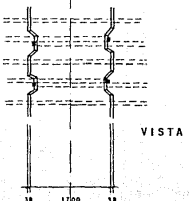
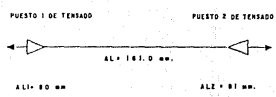
TESIS  
 PROFESIONAL  
 J. S. C.

PLANO No. 4 ESC. 1:25  
 ACOT. mm FECHA AGO/90



DETALLE II

DATOS DEL PRESFUERZO							
CABLES T I P O	LONG. DE CORTE	LONG. REAL	Nº. DE PEZAS	Nº. DE ANCLAJES	CV INICIAL EN CABLE	FUERZA INICIAL	ALARRAMIENTO (# PRESIO)#PRESIO
12 # 7	35.40 m.	34.20 m.	254	492	103.4 Kg/cm <sup>2</sup>	478 RR	57.30 137 mm 24 mm.



( $P_u = 16,324 \text{ Kex}$ )

100\*

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON UNAM

ANCLAJE DE CABLES PARA PRESFUERZO

TESIS PROFESIONAL J. S. C. PLANO No. 4A ESC. 1:50 ACOT: mm. FECHA: AGO/90

## Cemento

El cemento para la fabricación del concreto especificado, fué del tipo II o cemento portland modificado, que adquiere altas resistencias mecánicas similares a las del cemento portland normal (tipo I), con la ventaja de que genera menor calor de hidratación y tiene mayor resistencia al ataque de los sulfatos; esta reducción en la temperatura, adquirió especial importancia debido a que se colocaron grandes masas de concreto.

En particular y dado que la obra se encuentra ubicada dentro de las instalaciones donde es producido el cemento, sólo fué necesario transportarlo mediante camiones-tanque (cemento a granel) y almacenarlo en dos silos del tipo portátil de poca capacidad; dando como resultado que, en ocasiones, éstos no fueran suficientes para grandes producciones de concreto, por lo que fue inevitable usarlo a temperaturas hasta de 80 °C y dado que no se recomienda dosificarlo arriba de los 60 °C, fue necesario usar un aditivo retardante para estos casos.

## Agregados

Casi siempre es necesario efectuar exploraciones preliminares en las proximidades de la obra para descubrir los bancos de material aprovechable, siempre y cuando el volumen que se necesita lo justifique; recabando, para cada uno de ellos, los datos siguientes:

- Distancia al sitio de la obra
- Cantidad probable de agregados que podrá suministrar
- Calidad del material basada en pruebas de campo
- Facilidad para explotación

Posteriormente, se necesita conocer con detalle las características de los materiales que los forman y para ello se procede a muestrearlos; de manera preliminar, es suficiente abrir pozos a cada 100 o 200 m. si los resultados indican conveniente su explotación será necesario cerrar la distancia entre pozos, para



conocerlos con mas detalle.

En nuestro caso, la arena se obtiene de depósitos naturales y es conocida comunmente como arena de mina; el proveedor se encarga de su extracción, carga y transporte hasta el lugar designado para su almacenamiento. La distancia, de la obra a los bancos, es de 20 a 25 Km aproximadamente, resultando que, con cierta regularidad, se hagan visitas de inspección para cambiar el sitio de ataque, en caso de variaciones en las características de los mantos explotados.

La grava empleada es de tipo artificial, obtenida de la trituración de roca sólida, en las mismas canteras de caliza que Cruz Azul tiene para la producción del cemento. En las etapas de trituración es posible obtener, mediante cribado, la grava necesaria con el tamaño deseado, que va, desde 4 pig. a 1/4 pig. de espesor o menos, obviamente se incluyen tamaños intermedios y hasta polvo.

Precisamente en algunos casos, el polvo excesivo puede afectar al concreto; sin embargo, se cuenta con las cribas necesarias para separar el tamaño deseado y por el efecto vibratorio de las mismas el polvo que trae este material es mínimo y dentro de los límites admitidos.

Con el fin de cerciorarse que los agregados suministrados a la obra, tengan las características y calidad necesarias, se cuenta con un laboratorio para su estudio y aprobación ó, en su defecto, decidir acertadamente el rechazo de los mismos.

#### Agua

El agua que se empleó para fabricar el concreto, se extrajo de un pozo profundo, que se encuentra a 200 m de distancia de la planta dosificadora para concreto, asegurándose de esta manera, la calidad que se solicita de este elemento tan importante.

#### Aditivos

Siempre que se desean modificar, de alguna forma, las



propiedades del concreto, ya sea fresco o endurecido, son utilizados los aditivos. Su uso es recomendable cuando se trata de productos reconocidos; sin embargo, es necesario hacer pruebas de verificación y compatibilidad con el cemento, cuando no se tiene conocimiento de su comportamiento. Los tipos más comunes de aditivos son:

- Estabilizadores de volumen
- Retardantes
- Acelerantes
- Impermeabilizadores
- Inclusores de aire
- Fluidizantes
- Superfluidizantes

Los fabricantes, generalmente, indican las propiedades, cantidades a usar y los beneficios esperados de los mismos, así como el cuidado que debe tenerse al hacer uso de éstos.

#### Aceros de Refuerzo

Normalmente el acero usado en construcción es de dos tipos o calidades, aceros laminados en caliente y aceros trabajados en frío; las varillas templadas en caliente, se clasifican en tres grados de acuerdo a su límite de fluencia (fy) mínimo: 3000, 4200 y 5200 Kg/cm<sup>2</sup> y se designan como grado 30, 42 y 52 respectivamente, según norma DGN B-6 1974.

Las varillas obtenidas del acero trabajado en frío, tienen entre 4000 y 6000 kg/cm<sup>2</sup> como límite de fluencia, siendo normalmente, más resistentes que las trabajadas en caliente, según Norma DGN N-284 1972.

Generalmente, las laminadoras cuentan ya con su propio sistema de control de calidad, para el producto que elaboran; sin embargo, cuando se contrata con laminadoras pequeñas o desconocidas se deben hacer muestreos y ensayos del material; el muestreo, debe ser representativo del lote que se desea calificar, se recomienda que

por cada 10-20 ton se tome una probeta, pudiéndose incrementar hasta 3 por cada 10 ton. La longitud de la muestra será de 120 cm para dividirla en dos partes, una para la prueba de tensión y otra para la de doblado.

Las pruebas mecánicas a que se va a someter la varilla son, fundamentalmente, las siguientes:

Resistencia a la tensión, para definir la carga máx. y el fy.  
Alargamiento para una longitud calibrada, que puede ser de 5 a 20 cm.

Prueba de doblado

Medición de corrugaciones

Peso por metro lineal y a través de él, definir el área neta

El desarrollo de los métodos de prueba están indicados en las Normas Oficiales Mexicanas ( NOM ).

El acero utilizado en esta obra fué del tipo corrugado y laminado en caliente, grado 42, mismo que cumple con la norma NOM B-5 1983 donde se indican los requisitos de las corrugaciones de cada varilla nominal de grado 42.

#### Acero de Presfuerzo

En el caso de aceros utilizados en presfuerzo como el alambre sin recubrimiento (Norma DGN B-293 1974) y el torón de 7 alambres sin recubrimiento (Norma DGN 292 1974), la frecuencia del muestreo, es de una muestra por tonelada y por cada carrete (1 ton. aprox.) respectivamente.

En estos casos, el procedimiento de prueba difiere un poco, ya que el límite de fluencia es muy elevado y se requiere la aplicación de un extensómetro palpador para definir las cargas en el momento de alcanzar el límite de fluencia, por los métodos de extensión bajo carga, para una deformación permanente de 0.1% ó de 0.2% , en cuyo caso, se traza una línea paralela a la parte virtualmente recta para

localizar el punto de corte.

Los grados de calidad, para este material, se establecen según su diámetro. En el caso del toron, los grados de calidad que se marcan son: el 176 y el 190, midiéndose el límite de fluencia para una carga mínima que produzca un alargamiento del 1% en una longitud calibrada de 61 cm. Los resultados de resistencia, ruptura y límite de fluencia, son obtenidos en kg.

#### MAQUINARIA Y EQUIPO AUXILIAR

En la actualidad, no existe obra que pueda realizarse sin el empleo de estos dos elementos en cualquiera de sus etapas; luego entonces, la planeación y supervisión del equipo a adquirir o usar, toma especial importancia, sobre todo en lo que se conoce como construcción pesada.

En la selección del equipo para realizar una construcción los factores más importantes son el costo y la facilidad de conservación, si se va a adquirir y, obviamente, si es acorde al área a que está dedicado quien lo selecciona, para usarlo en obras posteriores.

Sin embargo, tanto para adquisición como para uso temporal, existen otros factores que, pensamos, dan una solución más completa al problema de selección y son los siguientes:

1. Trabajo y operación específica a ejecutar.
2. Especificación de construcción.
3. Movilidad requerida por el equipo
4. Influencia de las variaciones atmosféricas en su funcionamiento
5. Tiempo programado para hacer el trabajo
6. Balanceo del equipo Interdependiente
7. Versatilidad.

De hecho, una situación real en campo comprende varios

factores a la vez y pensamos que pueden ser considerados en ese orden, sin embargo, cada obra en particular determina la importancia entre ellos.

En el primer factor, se trata de determinar el trabajo físico a efectuar, la disponibilidad de espacio para operación y los requisitos y disposición de potencia (energía requerida por el equipo).

En el segundo se determina si ya existen especificados por proyecto, ciertos tipos ó características de equipo, junto con el procedimiento de construcción a seguir. No obstante, en este factor, predomina que la elección debe regirse por las especificaciones indicadas para la operación y funcionamiento de cada equipo en particular.

El siguiente factor analiza el posible movimiento ó traslado del equipo, entre operaciones de construcción ó de proyecto a proyecto.

El cuarto factor examina las condiciones atmosféricas como la temperatura, la humedad, el viento y la presión del aire, ya que todas afectan el funcionamiento del equipo, específicamente cuando se trata de equipo con motores de combustión interna, algunas, en forma diferente, afectan al operador y al material de trabajo.

Al hacerse un programa de trabajo, el tiempo es el factor determinante para la selección del equipo, ya que en el contrato se especifica un tiempo de entrega. En este factor se analizan los volúmenes y las posibilidades de sincronizar las operaciones secuenciales y la posible variación de las tarifas, en el caso de equipo rentado.

Muchas operaciones de construcción, tienen dos o más tipos de equipo trabajando simultáneamente, es por esto que, en el sexto factor se debe considerar que estos equipos estén balanceados en cuanto a tamaño y producción, para lograr una operación económica.

El séptimo factor a considerar es la versatilidad, esto quiere decir, que halla factibilidad para usar el equipo en varias operaciones del mismo proyecto.

En seguida se anota el equipo con el que se trabajó; se podrá

notar fácilmente como cumple, simultáneamente, con algunos de los factores que anteriormente referenciamos. Este equipo destaca precisamente por su utilización casi permanente durante todas las etapas de construcción; nuevamente, aquel que no se mencione será referido en el capítulo 3.

- Planta productora de concreto
- Camiones para acarreo de concreto
- Bombas para concreto
- Dobladora y cortadora para acero de refuerzo
- Grúas
- Elevador para personal

Planta dosificadora y mezcladora de concreto

Esta planta tiene un capacidad instalada de 30 m<sup>3</sup>/hr. su operación es de tipo automático y manual (éste es utilizado, generalmente, cuando se habrá de producir un volumen muy bajo de concreto). Tanto el equipo de la planta en sí, como el periférico, funcionan con energía eléctrica de 440 V. En las figuras 2.1 y 2.2 se muestran las partes principales que en conjunto forman la planta.

De manera resumida, el funcionamiento es el siguiente:

En la caseta de control central, el operador encargado acciona los controles y manipula las perillas de las básculas, tanto de agregados, como de cemento y agua; habiendo recibido previamente la dosificación, por peso, de estos materiales, programa las cantidades de cada material a utilizar, así mismo, fija el tiempo de mezclado.

Al iniciarse el proceso, todo el equipo entra en operación simultáneamente, pero si por alguna causa la alimentación de un material no ha sido la suficiente, el proceso automáticamente se detiene hasta que el material faltante sea repuesto.

Mediante un dispositivo, una bomba alimenta el agua y ésta dejará de bombear en el momento en que la báscula indique el peso requerido; el cemento, a su vez, es alimentado mediante el

funcionamiento automático del gusanillo (este elemento gira como un tornillo sin fin), que está instalado dentro de la tubería bajo el silo, así, el cemento es desplazado hacia la báscula en la que al tener la cantidad programada, desconectará la energía eléctrica que mueve al gusanillo; en los agregados se lleva a cabo un trabajo similar, con la diferencia de que sólo se cuenta con una báscula, en la que, acumulativamente, se programa también el peso deseado de éstos materiales; a la tolva de agregados, descargan cuatro escotillas, dos para grava y dos para arena, en el momento en que la báscula marca el primer peso programado, digamos para grava gruesa, se cierra esa escotilla y se abre la segunda dejando pasar grava fina, cuando se completa el segundo peso previsto, se cierra esta escotilla y se abre la de arena; toda vez que cada báscula marca el peso adecuado de material, vacían su contenido en la tolva mezcladora, donde el material se mezcla, según el tiempo programado, al término del cual, ésta ascenderá y se vaciará su contenido, en el medio de transporte, a su regreso activará nuevamente el inicio del ciclo, hasta que manualmente éste sea detenido, ya sea para cambiar el peso de cualquier material por corrección ó por un cambio en la resistencia del concreto por fabricar.

#### Camiones para transporte de concreto

Estas unidades son las que comunmente se conocen como camiones de volteo, a los que fué necesario adaptarles una compuerta, con una escotilla de operación manual, para el vaciado del concreto; la capacidad de transporte en volumen es de 3 m<sup>3</sup> máximo, debido principalmente a que si ésta cantidad es excedida, el vaciado del concreto se dificulta dada la posición de descarga. En la figura 2.3 se muestra la posición de la compuerta en el camión; el número de camiones utilizados, variaba según el volumen del concreto por colocar ó de la velocidad con que se pudiera colar, es decir, la dificultad de la parte de la estructura para colocar el concreto en ella.

Los vehículos son impulsados por un motor a diesel de 8 cilindros, con una potencia entre 110 y 120 H.P. y tienen una capacidad de carga de 10 ton, en realidad, la capacidad de carga



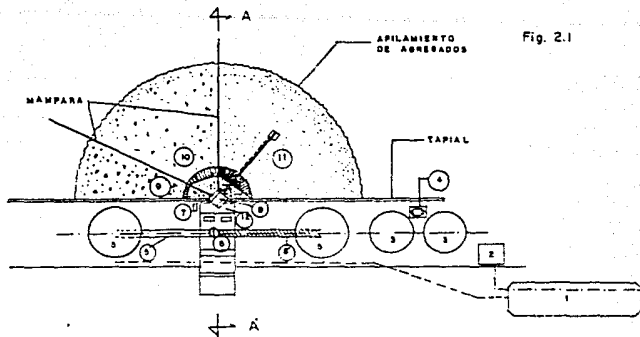
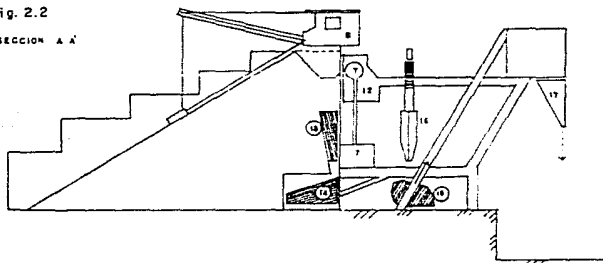


Fig. 2.1

DISPOSICION GENERAL Y PARTES MAS IMPORTANTES  
DE LA PLANTA PARA CONCRETO

Fig. 2.2

SECCION A A'



1. SILO MOVIL PARA CEMENTO HORIZONTAL  
2. COMPRESOR  
3. DEPOSITOS PARA AGUA  
4. BOMBA PARA AGUA  
5. SILOS SEMIPIJOS PARA CEMENTO  
6. TUBERIA PARA CEMENTO  
7. BASCULA AGUA Y CEMENTO  
8. BASCULA AGREGADOS  
9. DRASALINA PARA AGREGADOS  
10. GRAVA MEDIA O FINA  
11. ARENA  
12. CASETA DE CONTROL  
13. TOLVA PARA AGREGADOS  
14. RECEPCION DE AGREGADOS  
15. MEZCLADORA  
17. DESCARGA DE CONCRETO

1. SILO MOVIL PARA CEMENTO HORIZONTAL  
2. COMPRESOR  
3. DEPOSITOS PARA AGUA  
4. BOMBA PARA AGUA  
5. SILOS SEMIPIJOS PARA CEMENTO  
6. TUBERIA PARA CEMENTO  
7. BASCULA AGUA Y CEMENTO  
8. BASCULA AGREGADOS  
9. DRASALINA PARA AGREGADOS  
10. GRAVA MEDIA O FINA  
11. ARENA  
12. CASETA DE CONTROL  
13. TOLVA PARA AGREGADOS  
14. RECEPCION DE AGREGADOS  
15. MEZCLADORA  
17. DESCARGA DE CONCRETO

está dada por el peso del material que transportan, ya que, por ser considerados como equipo de acarreo para tránsito en carretera, las autoridades relacionadas con el uso y conservación de caminos fijan el peso máximo de transporte, si se hace uso de éstas vías.

#### Bombas para concreto

Se contó con el apoyo de dos bombas para concreto, una bomba cuenta con dos motores a diesel de 6 cilindros cada, uno con una potencia de 110 H.P., dando una capacidad de altura en concreto bombeado de 100.00 m, la otra cuenta sólo con un motor a diesel de 6 cilindros, con una potencia de 86 H.P., que da una capacidad de altura para el bombeo, de 65 m máximo; sin embargo, hay equipos que pueden dar hasta 600.00 m horizontalmente y 120.00 m en posición vertical.

Las partes principales de las bombas son: una tolva de recepción, dentro de la cual se tiene un agitador que mantiene al concreto en movimiento, dos pistones operados mediante un sistema hidráulico, un motor que suministra la potencia necesaria y aunque propiamente la tubería no está dentro de los componentes de la bomba, se considera como parte de este equipo, ya que sin ella no sería posible colocar el concreto en el lugar destinado; ésta, se compone por tramos de tubo de aluminio de 3.0 m de largo y 5 pig. Ø, mismos que se van acoplando según sea necesario, además los correspondientes codos de 45° y 90° para efectuar los cambios de dirección.

La figura 2.4 muestra esquemáticamente las partes que componen este equipo, también se muestra la posición y el dispositivo empleado para cargar el concreto en la bomba.

#### Cortadora y dobladora de varilla (fig. 2.5)

Este equipo está montado en su propio remolque, ya que es del tipo transportable; consiste en una bomba hidráulica, movida por un motor a gasolina, con una potencia de 15 C.V. a 2500 r.p.m.

La bomba hidráulica entrega 12 g.p.m. a 2000 lb/plg<sup>2</sup> de presión a una velocidad de 2500 r.p.m., cuando el motor funciona a su capacidad nominal, con estas características, puede trabajar con varillas hasta del No.11.

Cuando se dobla varilla, la válvula de corte queda situada automáticamente en posición neutral, cuando se corta, la válvula de doblaje queda también automáticamente en posición neutral.

Las figuras 2.6 y 2.7 muestran el doblaje para estribo y el doblaje para espiral y anillo respectivamente. El uso de este equipo es obvio, si se consideran las cantidades y diámetros de varilla con los que se trabajó.

#### Grúas

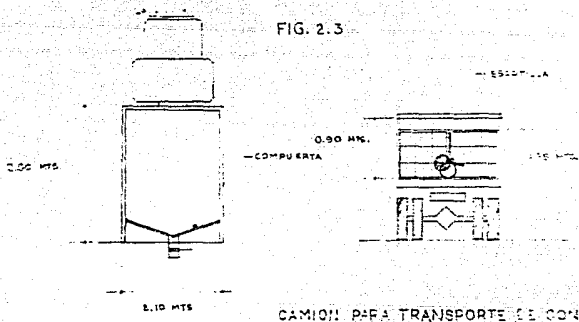
La operación de montaje, así como los trabajos en edificios altos, en la construcción, están básicamente determinados por la elevación vertical de cargas, para el posicionamiento y sujeción de las mismas, hasta que estén colocadas en forma segura ó en el lugar deseado; la elevación debe hacerse en forma controlada, de manera que la carga conserve la horizontal ó cualquier orientación, requerida para su colocación, por lo general, para lograrlo se necesitan elementos como cables, ganchos, sistemas de poleas, eslingas u otros dispositivos de acarreo.

Aparte del movimiento vertical de la carga, en la mayoría de los casos, también debe moverse horizontalmente; para lograr los fines anteriores, pueden usarse distintos tipos de equipo: grúas móviles, grúas de locomotora, grúas giratorias y grúas de torre.

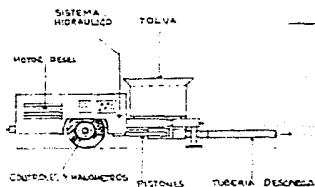
Todos estos equipos tienen ciertos componentes básicos, las partes comunes son la pluma, como miembro de soporte, y los cables y herramientas que sirven para levantar las cargas.

En nuestro caso, se utilizaron dos grúas de torre, mismas que

FIG. 2.3



BOMBA PARA  
CONCRETO



CARGA DE CONCRETO

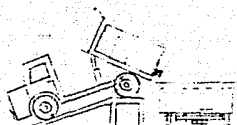


FIG. 2.4

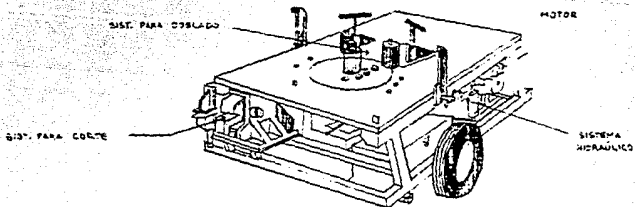


FIG. 2.5 CORTADORA Y DOBLADORA DE VARILLA.

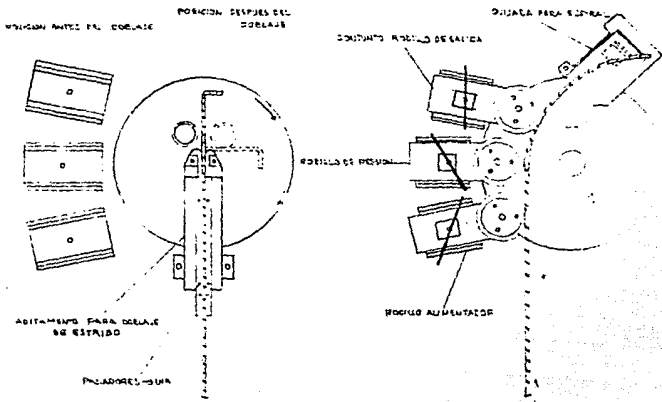


FIG. 2.6 DOBLAJE DE ESTRIBO

FIG. 2.7 DOBLAJE EN ESPIRAL Y ANILLO

a continuación describimos:

Son, al igual que la mayoría de este tipo, estacionarias, aunque móviles, de acción giratoria, para llegar hasta sus cargas y moverlas del lugar. Están compuestas por dos partes principales, un mástil fijo y vertical, que además es automontable y una pluma horizontal, que cuenta con una plataforma para el contrapeso, opuesta a ésta; éstos dos elementos, son estructuras reticulares y ligeras.

En la grúa de menor tamaño, la pluma y la plataforma se soportan mediante cables, que pasan sobre la parte superior de un bastidor en "A", que sobresale arriba del mástil, punto de soporte de la pluma; la carga, en ambos casos, se sostiene desde la pluma sobre un cable carril y un miembro corredizo o carro que se traslada hacia adelante y hacia atrás, a lo largo de la pluma.

Bajo la cabina de control se encuentra la mesa giratoria, la cual gira con la pluma y la estructura del contrapeso.

En la figura 2.8 se indican los radios de acción que tienen cada una de las grúas utilizadas, así como su ubicación en la obra, ésta disposición se hizo necesaria, ya que en ocasiones, hubo la necesidad de utilizar la grúa Linden para otras actividades de montaje en estructuras aledañas, sin que por esto se detuvieran las actividades en el silo.

La figura 2.9 muestra las alturas de operación de las grúas y los puntos de apoyo que se colocaron para el soporte y contraventeo de la grúa Pingón, ya que es un equipo que por el diseño mismo de sus elementos, necesita de refuerzo para lograr mayores alturas.

#### **Elevador para el personal**

En el desarrollo de toda construcción, siempre se requiere el manejo de herramienta menor por parte del personal obrero, la mayoría de las veces es necesario que por detalles de construcción, esta herramienta tenga que ser cambiada, constantemente, durante la

jornada de trabajo.

No obstante que la constructora cuente con un local para guardar el equipo menor de su personal, pocas veces es factible ubicarlo lo más cerca posible de la obra; consecuentemente, tanto al iniciar la jornada como al terminarla, el personal tendrá que trasladarse del sitio de trabajo hasta el almacén y viceversa, amén del posible cambio o necesidad de utilizar otro tipo de herramienta durante el transcurso de la jornada.

El sobrestante de la obra deberá entonces asegurarse de que al iniciar la jornada los trabajadores tengan la herramienta necesaria para desarrollar sus actividades; sin embargo, por lo arriba expuesto, no siempre es posible.

Dado que el tiempo que se ocupa, tanto para el cambio de herramienta como para la utilización de una distinta es, por llamarlo así, un "tiempo muerto", que grava directamente el rendimiento del personal y por consiguiente la utilidad de la empresa constructora; se hace entonces necesario, buscar la manera más rápida para que el personal pueda desplazarse en el menor tiempo posible al ejecutar cualquiera de las operaciones descritas.

Por las características mismas de la obra, se determinó utilizar un elevador para el personal, mismo que a continuación se describe:

Se compone de 3 partes principalmente, una estructura reticular ligera de soporte, que tiene fija una barra guía, sobre la que se desplazan los engranes, que mueven en conjunto a la cabina donde se transporta el personal y un motor eléctrico que opera con corriente eléctrica de 440 V.

La capacidad del elevador es de 1800 Kg (20 personas) y tiene una velocidad de desplazamiento de 45 m/min. La figura 2.10 muestra la disposición del elevador en la estructura; así como los puntos de apoyo sobre la misma. Este equipo, al igual que la grua Pingon, se erigió según el avance del silo.

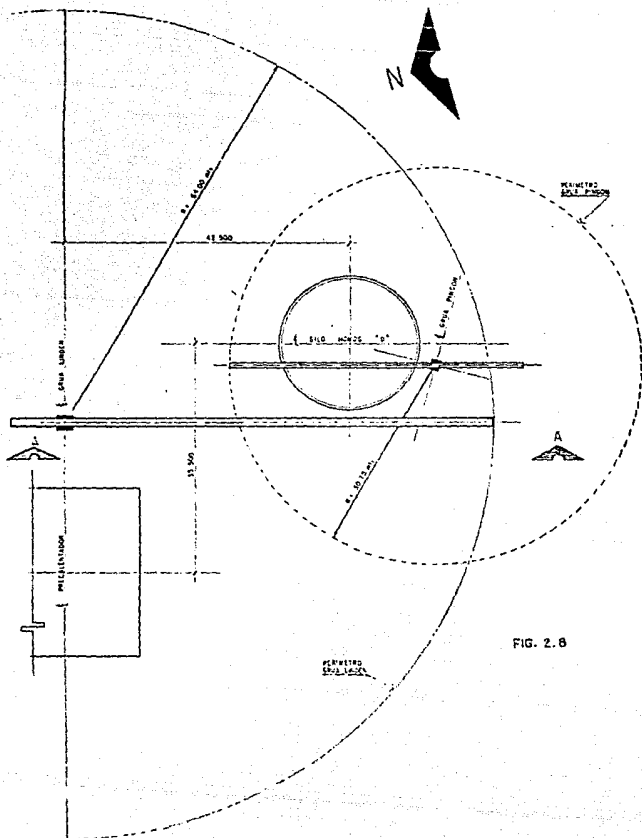


FIG. 2.8



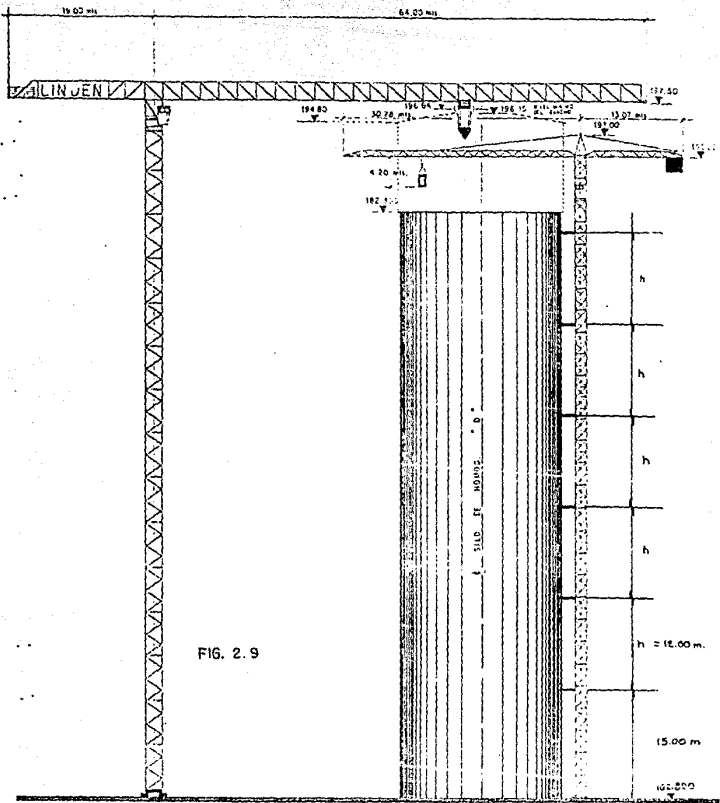


FIG. 2. 9

ELEVACION A-A

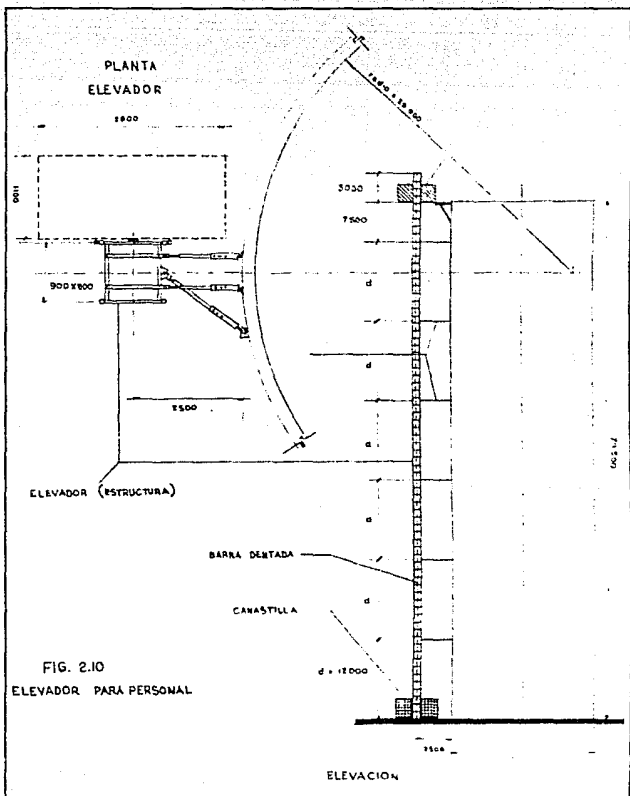


FIG. 2.10  
ELEVADOR PARA PERSONAL

## Cuantificación de obra

Toda vez que se han revisado y estudiado los planos autorizados para construcción, es necesario, de manera imprescindible, conocer los volúmenes de obra que forman las partes integrantes del proyecto por ejecutar; no solo, como se comentó antes, para determinar las cantidades de materiales por utilizar, sino que también es información necesaria para cubrir etapas importantísimas como el análisis de costo y presupuesto, la programación de la obra, e inclusive, alguna o varias etapas del procedimiento de construcción.

La cuantificación de obra ó cubicación, como comunmente se conoce, puede también relacionarse con la revisión de cantidades ejecutadas durante el avance de la obra. En los capítulos 4 y 5, se presentan en resumen las cantidades de obra determinadas para el proyecto en estudio; separadas convenientemente por conceptos, ya que de esa forma se requiere, para utilizarlas en las etapas ya mencionadas.

## CAPITULO TRES

### PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

#### LA PLANEACION DENTRO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Una de las etapas del proceso de construcción que se considera básica para realizar satisfactoriamente una obra y que además cubre el precepto de ingeniería de utilizar óptimamente los recursos, para obtener un producto al más bajo costo y en el menor tiempo posible, es sin duda alguna, la planeación de la misma.

La planeación es el proceso de seleccionar, anticipadamente, un método y orden dentro de todas las posibilidades y secuencias en que podría efectuarse un proyecto, señalando su forma de realización.

En la planeación intervienen una serie de factores, como procedimientos y experiencias anteriores, que facilitan la obtención del objetivo establecido, de manera más efectiva; al hablar de procedimientos nos referimos a la elección de los medios, que habrán de ser empleados para la ejecución de la obra, así, como a la determinación de la secuencia cronológica de actividades; es decir, la secuencia del conjunto de pasos para lograr el objetivo.

Cuando no se realiza una planeación profunda y a conciencia, o ésta se fija según bases empíricas o intuitivas, los resultados son muy vagos, las políticas caprichosas y contradictorias, los procedimientos inadecuados; los programas incompletos, arbitrarios o irrealizables; todo se traduce en rectificaciones constantes, gastos innecesarios y pérdidas o desperdicio de materiales, de tiempo y de energía humana.

En el presente capítulo describiremos el procedimiento seguido en la construcción del silo; en cada etapa se destacarán, con el mayor detalle posible, las actividades más importantes.

## BASES PARA DETERMINAR UN PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION

Dentro de la selección de los procedimientos constructivos a emplear y la planeación de sus etapas, debe considerarse que éstos están en función del proyecto estructural, de la mecánica de suelos, etc., es por ello que en ocasiones, éstos factores, son determinantes para tomar la decisión final.

En términos generales se puede establecer la siguiente metodología para la elección de un procedimiento constructivo.

1. Determinación del volumen de obra por ejecutar
2. Conocimiento del proceso de ejecución de cada actividad
3. Conocimiento de requisitos a cumplir o especificaciones de calidad
4. Planteamiento de posibles alternativas de ejecución según planos
5. Obtención de costos y tiempos de ejecución de cada una de las posibles alternativas, en función del equipo, personal y materiales disponibles.
6. Elección de la alternativa de ejecución que se considere más conveniente.

### PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA CONSTRUCCION DEL SILO

En la construcción de silos de concreto reforzado existen dos métodos a saber, y son: el sistema de cimbra deslizante y el sistema de cimbra trapante; este último fue el que se utilizó para realizar este proyecto y su implantación obedece a que el sistema viene implementado dentro de un paquete de ingeniería alemana, que cubre tanto el proyecto industrial ( sistemas y equipo usados en la producción del cemento ) como el de obra civil ( proyecto estructural y el equipo de la cimbra trapante ). Nos referiremos a este sistema, dentro del procedimiento general.

#### Excavación mecánica

- 1a. Etapa. Realizar la excavación del nivel de terreno natural

(N.T.N.) al N +99.20.

- 2a. Etapa. Construir cárcamos para bombeo (de N +99.20 a N +92.50), así como la zanja para dren perimetral y relleno de la misma con grava.
- 3a. Etapa. Vaciado del terreno del N +99.200 a N+94.00.

Dado el volumen de excavación y a que el área lo permitió, se decidió hacer la 1a. etapa utilizando una retroexcavadora y un traxcavo; con el traxcavo fué construída una rampa del N.T.N. a N +99.20, con el fin de que el traxcavo atacara desde este nivel y la retroexcavadora lo realizara desde N.T.N. en la figura 3.1 se presenta la consecución de esta etapa.

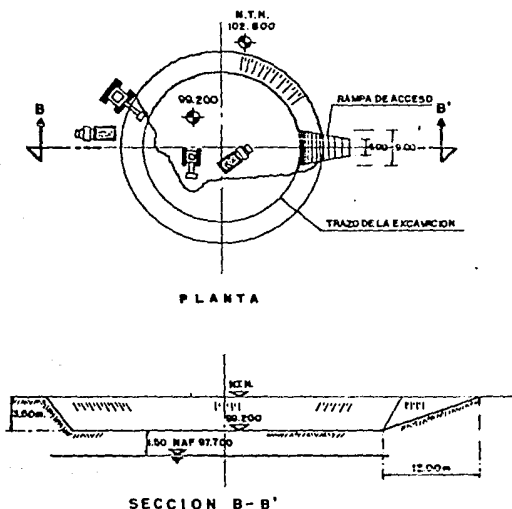


Fig. 3.1 Excavación mecánica 12 etapa

Para iniciar la 2a. etapa se trazan las circunferencias, que definen la siguiente etapa, con el fin de ubicar la posición del dren perimetral; posteriormente se hace la excavación de los cárcamos, para abatir el N.A.F.; se continúa con la zanja perimetral para el dren, terminándose esta etapa con el relleno del mismo, con grava de 4'' Ø para asegurar la estabilidad de las paredes, figura 3.2.

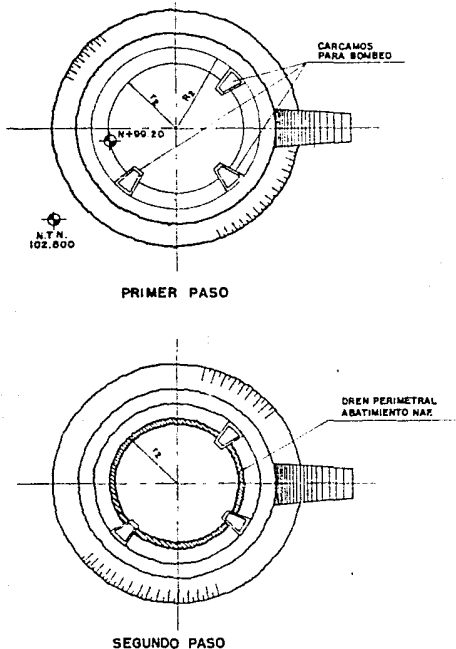


Fig. 3.2 2ª Etapa del procedimiento de excavación

Una vez abatido el N.A.F., se inició la 3a. etapa con el auxilio de una retroexcavadora más; la excavación se empezó por el lado opuesto a la rampa de acceso para aprovechar durante el acarreo el mayor terreno posible. El traxcavo fue muy poco útil para esta etapa, debido al área que necesita para trajar, figura 3.3.

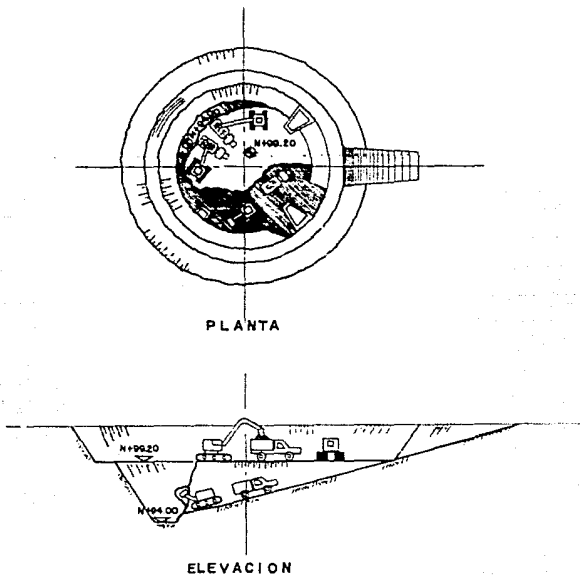


Fig. 3.3 3ª Etapa excavación al nivel N+94.00



Durante esta etapa, los pozos abiertos inicialmente no lograron controlar la humedad en el nivel N +94.00, dificultándose la excavación, por lo que fue necesario abrir un pozo más; al finalizar esta etapa, los pozos fueron revestidos con mampostería seca de piedra brasa.

Finalmente se termina la excavación, quedando como se muestra en la figura 3.4

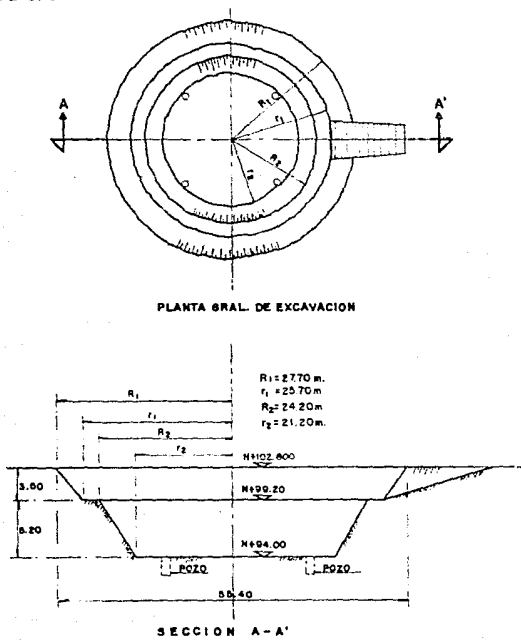


Fig. 3.4 Excavación terminada

### Relleno compactado

- 1a. Etapa. Acarreo, mezclado de material en seco (grava y tepetate) y almacenamiento del mismo.
- 2a. Etapa. Mezclado del material con agua (humedad requerida).
- 3a. Etapa. Sobreacarreo del material preparado en la etapa anterior, tendido y compactado hasta el nivel N +99.20.
- 4a. Etapa. Relleno en cimentación hasta el nivel N +102.80

En la primera etapa se dispuso de un patio para mezclar el material de relleno, de aproximadamente 50 m de largo por 30 m de ancho; el material, acarreado por camiones de volteo, se mezcló con motoconformadora, posteriormente, se apiló usando un cargador frontal, con el cual se realizaba también el sobreacarreo.

Extendido el material se le incorpora el agua, y toda vez que tenía las características deseadas, se acarrea hasta el área de trabajo; inicialmente y para bajar la maquinaria al nivel de desplante se formó una rampa, volteando el material desde el nivel N +99.20, este mismo material sirvió para la construcción de la primera capa de relleno; este procedimiento de colocar el material en el área de trabajo, se continuó hasta alcanzar el nivel N +99.20, figura 3.5.

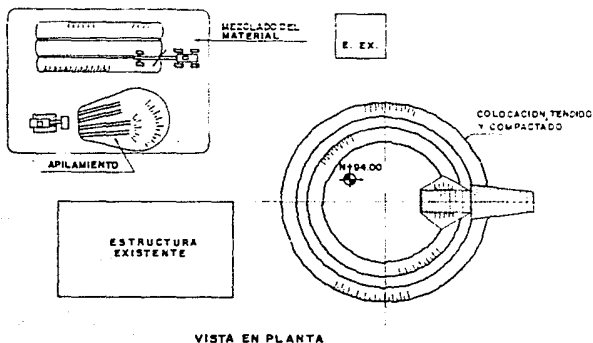


Fig. 3.5 Proceso para relleno compactado

### Métodología de compactación

1. Nivelación horizontal del material en capas de 20 cm de espesor.
2. a) Cerrar el material con rodillo liso.  
b) 25% de compactación con vibrocompactador.  
c) 50% de compactación con vibrocompactador.
3. Repetición del paso 2 para cada etapa, hasta alcanzar el grado de compactación especificado.

Una vez alcanzado el N +99.20, fué necesario detener el relleno para posteriormente continuarlo al ser terminada la cimentación.

### Cimentación

- 1a. Etapa. Construcción plantilla de desplante.
- 2a. Etapa. Habilitado y armado del acero de refuerzo, habilitado y colocación de cimbra.
- 3a. Colado de cimentación.

Inicialmente, se checan y fijan los ejes de referencia así como un banco de nivel, siendo éstos entregados al contratista en mojoneras permanentes fuera de la excavación.

El proceso se inicia con el trazo, con cal, de la circunferencia (de  $R=16.0$  m) para la plantilla y la corrida de niveles correspondientes, en este caso, N +99.300 que es el nivel de desplante de la estructura.

Durante la construcción de la plantilla el concreto es colocado directamente sobre el terreno, humedecido previamente, haciendo para ello uso de la rampa.

Terminada la plantilla se procede a trazar sobre ésta la forma en planta de la plataforma de cimentación, muros del silo y columna central, con el fin de colocar y armar correctamente el refuerzo ya habilitado con anticipación.

Cabe mencionar la importancia de utilizar la grúa torre, au.

desde la cimentación, debido básicamente al volumen de refuerzo y al desnivel ( $h=3.60$  m) del área de trabajo, con respecto al patio de habilitado de éste.

Según datos, el volumen de concreto en cimentación es de 2396  $m^3$  y dado que la producción máxima de la planta para concreto, es de 30  $m^3/hr$ , éste resultó ser un volumen considerable; por lo que se optó por seccionar el colado en la cimentación, eligiéndose la forma que se muestra en la figura 3.6.

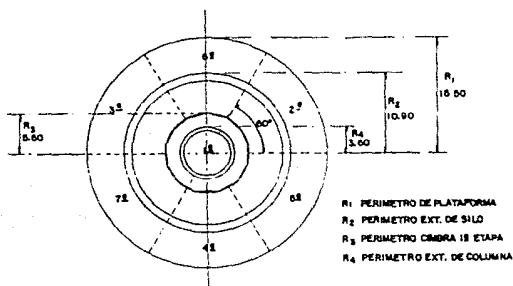


Fig. 3.6 Etapas para el colado de cimentación

Determinación de volúmenes para colado:

En una jornada de 8 hrs. se pueden colar:  $30 \text{ m}^3/hr \times 8 = 240 \text{ m}^3$ , suponiendo que se incrementan 4 hrs. extras, se podrían colocar:

12 hrs X 30 m<sup>3</sup> = 360 m<sup>3</sup> por colado.

Determinación de zonas para colado:

Tenemos que:  $2395/360 = 6.65$  partes. aproximadamente 7 colados, dado que en el centro de la cimentación se tienen 3.50 m de altura, tendremos:  $V = A \times h$

por lo tanto  $A = V / h$  implica que  $360/3.50$  aproximadamente igual a 100 m<sup>2</sup>, para lograr 100 m<sup>2</sup> será necesario cimbrar el área central, con un radio de cimbra igual a:

$$A = \pi \times r^2 \text{ implica que } r^2 = A/\pi$$

por lo tanto  $r^2 = 100/3.1416 = 31.83$

por lo que  $r = (31.83)^{1/2}$

radio de cimbra = 5.64 m., se ajusta a 5.60 m

Para la 1a. etapa se tiene:

$$V = A \times h \rightarrow V = [3.1416 \times (5.60)^2] \times 3.50 = 355 \text{ m}^3 \text{ aprox.}$$

Para las etapas restantes:  $2395 - 355 = 2041/6 = 340 \text{ m}^3 \text{ aprox.}$   
que pueden realizarse en:  $340 \text{ m}^3 / 30 \text{ m}^3/\text{hr} = 11.33 \text{ hrs. aprox.}$

Tanto la cimbra perimetral interior como exterior se logró con módulos rectos de 3.0 m de largo por 3.50 m de altura, para el centro, y por 2.30 m de altura para el perímetro exterior.

Las secciones de colado, así planteadas, se llevaron a cabo haciendo una por día. El vaciado del concreto se realizó desde fuera de la excavación y para ello se habilitaron dos andamios, como apoyo, para la tubería de las bombas para concreto.

Es de suma importancia mencionar que una vez programada la fecha de colado se deben preparar todos los elementos necesarios para realizarlo, y éstos, pueden dividirse en tres grupos:

1. Relativo al equipo.

Se verificará que se encuentre en condiciones aceptables de operación, que se cuente con el abasto de energía o combustible necesarios; que al efectuarse el colado, haya en la obra personal capacitado, para atender cualquier desperfecto menor; así como.

contar con las piezas mecánicas de repuesto cuya destrucción sea factible con más frecuencia. Y por último, que haya las unidades necesarias e inclusive contar, de ser posible, con otras de reserva.

## 2. Relativo a la obra.

Con toda anticipación, deberán colocarse en la misma, las instalaciones necesarias, tales como: instalación eléctrica sea para equipo ó alumbrado, instalación hidráulica para mojado de superficies de colado ó limpieza del equipo y herramienta al finalizar la jornada; además, en caso de amenaza de lluvia, se contará con lonas impermeables para cubrir las superficies donde ya ha sido colocado el concreto (sobre todo en áreas grandes). Por último los materiales a usar deberán existir en cantidades suficientes.

## 3. Relativo al personal.

Habrà de calcularse el tiempo necesario para el colado, con el fin de programar si este será realizado por turnos o simplemente se terminará con algunas horas extras, que en el caso de exceder de 2 hrs, deberá decidirse, según la política de la empresa, si el personal traerá ó se le proporcionará la alimentación.

Columna central, a N +112.300

Dado que para toda estructura de concreto reforzado, necesariamente se siguen las etapas de habilitación, colocación y armado de refuerzo, definir secciones de colado y, según éstas, cimbrado y colado de las mismas; para este elemento, tiene mayor importancia mencionar que su construcción se llevó a cabo utilizando la cimbra trepante; misma que creemos más conveniente, describir en las etapas constructivas siguientes. Debido a la altura de esta cimbra (4.0 m), fue necesario realizar tres secciones de colado para terminar la columna en el nivel indicado, figura 3.7, por ser éste, el punto de apoyo la plataforma N +112.300.

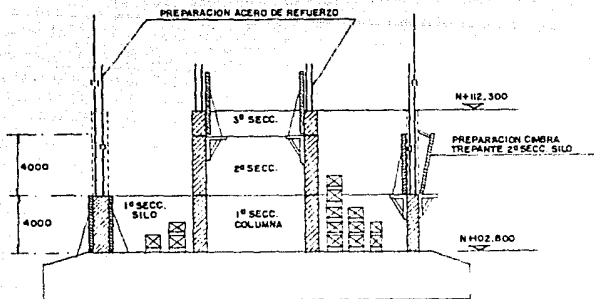


Fig. 3.7 Etapas constructivas muros columna central y silo

Silo a N +112.300 muro e = 900 mm

Al igual que la columna central, los muros del silo a este nivel se concluyeron en la misma forma; tanto la cimbra interior de la columna como la exterior del silo, se mantuvieron en la posición que ocuparon para colar la 3a. sección, a fin de poder contener el concreto que posteriormente se vaciaría para la plataforma N +112.300

Losas N +106.00 y N +109.300

La secuencia lógica para la construcción de estas losas, era hacerlas según el avance de los muros y columna central, pero dada la poca importancia estructural y el volumen mínimo de obra que representan, así como las secciones de colado (con altura de 4.0 m) ya definidas para los muros, resulta que, realizarlas de esa manera implicaría un atraso de muros y columna central, que a su vez son básicos para actividades más importantes, como la plataforma del N +112.300, por lo que se decidió continuar con los muros, dejando

preparada para las losas, una "caja perimetral de construcción"; es decir, una endidura en los muros, que se logra colocando material fácilmente removible, para posteriormente cimbrar, armar y colar dichas losas, una vez que se haya dejado libre esa zona (periodo mínimo de 28 días).

#### Plataforma N +114.900

De hecho, el proceso de construcción de la plataforma se inicia una vez que toda la cimbra interior en muros, del silo, es elevada a la 2a sección; ya que en ésta etapa, se empieza a colocar el andamio metálico (obra falsa), base de la cimbra para esta plataforma. Nuevamente, según datos, el volumen de concreto es de 695 m<sup>3</sup> y por lo expuesto antes, se decide colar en 2 etapas de 342.5 m<sup>3</sup> cada una, para ello la plataforma es dividida en dos secciones de igual volumen. También se hacen los trabajos para terminar, durante esta etapa, la instalación total de la cimbra trepante; es decir, la colocación de los andamios colgantes (perímetro exterior del silo) ya que en la siguiente elevación, servirán para el insertado de los cables de presfuerzo, así como para el retocado de los muros, en las juntas de colado. La figura 3.8. indica el proceso hasta esta etapa

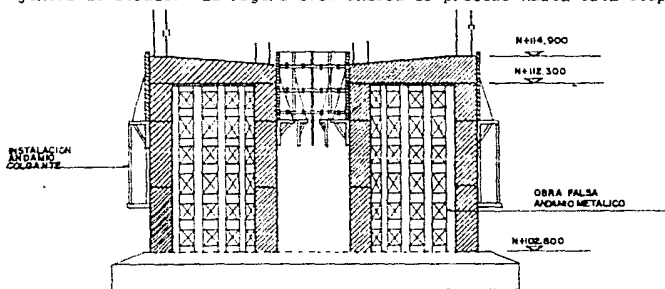


Fig 3.8 Etapa final de construcción plataforma N+112.300



Silo a N+182.100 muro e = 450 mm

El elemento principal para construir los muros lo constituyó la cimbra trepante; de hecho, este sistema es poco conocido. Su implantación en este proyecto, es resultado de la importación integral de ingeniería alemana, utilizada dentro de la ampliación de las instalaciones industriales.

El material de los elementos que componen esta cimbra es de tres tipos, una parte de madera (entramado para tarimas y tabloncillos del entarimado) otra parte metálica (canales, piezas del cinturón, ménsulas, tubos de ensamble, etc.) y por último, un tipo de tipo triplay de manufactura muy especial (cimbra de contacto), también importado.

En la figura 3.9 se muestra una sección tipo de la cimbra trepante, en donde se pueden apreciar los elementos que la componen.

Inicialmente, en un patio de habilitado, se conforman o ensamblan, en paneles, los elementos 1, 2 y 3 (ver figura 3.9) para lograrlo, es necesario fabricar una cercha<sup>4</sup> de madera, con el radio de curvatura que se desea tenga la cimbra, la fijación entre estos elementos se logra mediante tornillos. Una vez fabricados los paneles, (4.0 m de longitud en arco y 4.0 m de altura), son elevados por la grúa y colocados en el sitio por cimbrar.

En la segunda etapa y siguientes, se descimbra, y se dejan al descubierto los conos de avance; a éstos y mediante tornillos, son sujetadas las ménsulas, mismas que a su vez soportan el entramado de las plataformas (ver figura 3.9a) de trabajo y la estructura del andamio colgante.

Una vez que toda la cimbra ha sido colocada, formando un  
Especie de patrón o modelo, fabricado en cualquier material y a las dimensiones reales, en donde se apoya el material, al que se quiere dar determinada forma.

anillo de 4.0 m de altura en todo el perímetro de la etapa por ejecutar, se procede al ensamblado entre paneles para cerrar herméticamente los cinturones, tanto el exterior como el interior, sirviendo estos, prácticamente, como el troquelamiento de toda la cimbra. En la figura 3.10 se trata de representar lo antes descrito.

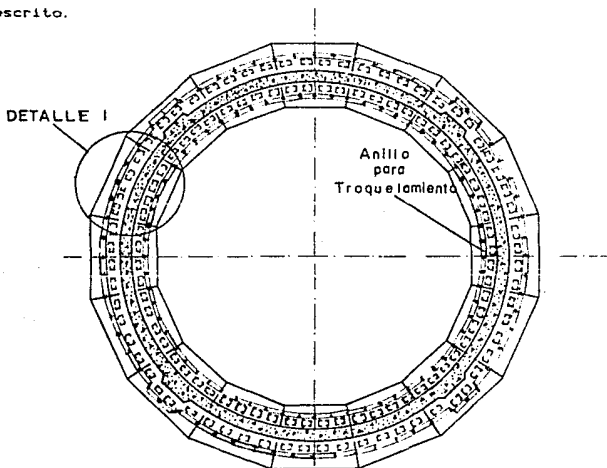
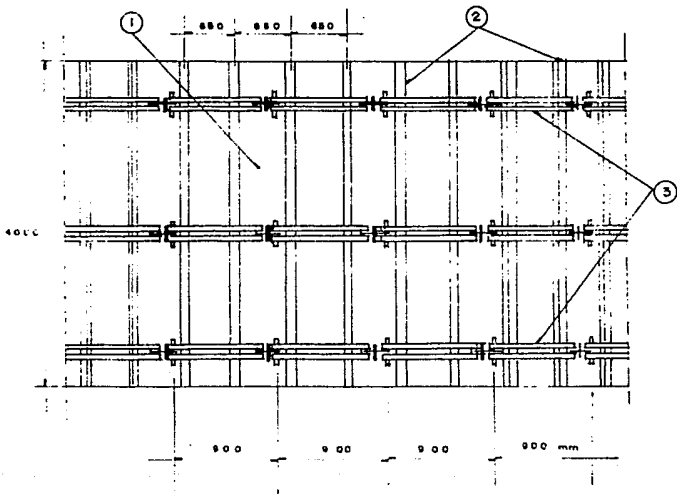
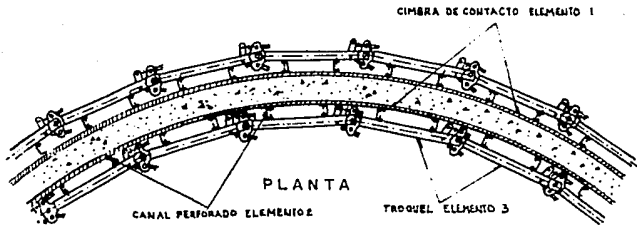


Fig. 3.10 Instalación total Cimbra Trepante - PLANTA -

Después del colado, se procede al descimbrado de todo el anillo formado por los paneles. La preparación de la etapa siguiente consiste en la elevación de la cimbra, como a continuación se describe: un panel es desplazado hacia una de las tarimas adyacentes, la tarima que ha quedado libre es levantada hasta los conos de avance superiores, donde es firmemente atornillada; cabe mencionar que el cono de avance, ligado al separador, es el único soporte de los elementos que forman la tarima (en la figura 3.9 ver números 4,8,9,10,11,12,13,14,15 y 16); una vez ancladas las dos ménsulas que sostienen todo el cuerpo de la tarima, se levanta el

DETALLE 1 (Fig. 3.10)



ELEVACION

panel correspondiente, y colocándolo en la tarima antes elevada es provisionalmente amarrado, con una cadena, al acero de refuerzo. Al levantar el último cuerpo de la cimbra, se inicia nuevamente el ensamblado entre paneles para cerrar la siguiente sección de coiado; el proceso se repitió 17 veces a partir del N° +114.900 hasta terminar el cuerpo del silo. En la figura 3.11 se trata de representar este procedimiento.

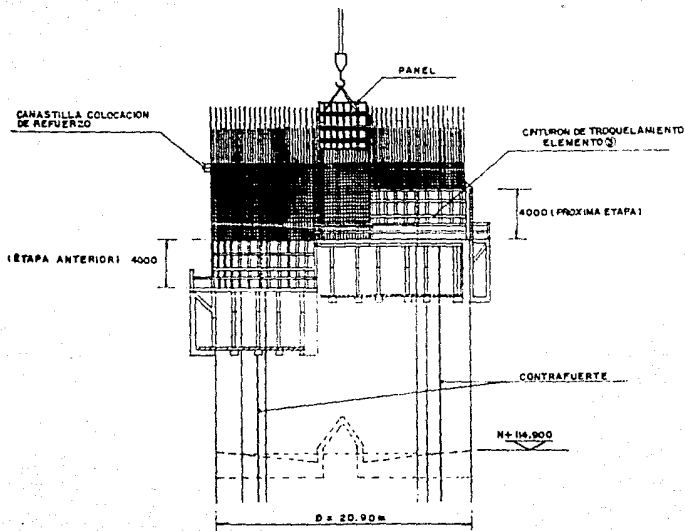


Fig. 3.11 Elevación de cimbra trepante

La preparación del acero de refuerzo vertical siempre llevó un avance de 8.0 m mínimo y su acoplamiento se realizó mediante el mufado, especificado por proyecto; por lo que respecta al acero de refuerzo horizontal, se llevó un avance de 4.5 m como mínimo en relación a la cimbra.

En cuanto a la realización de los colados, también por especificación para el uso de la cimbra, se llevaron a cabo, colando anillos de 0.50 m de espesor, hasta completar la altura de cada sección.

Presfuerzo en muro  $e = 450 \text{ mm}$

- 1a Etapa. Corte del cable y colocación de ducto
- 2a Etapa. Insertado de cable
- 3a Etapa. Tensado e inyección
- 4a Etapa. Cimbrado y colado de las zonas de anclaje.

La primera etapa inicia a partir del N +114.900, según plano No. 4, de hecho, la colocación de los ductos de 2" Ø se va realizando según el avance del acero de refuerzo vertical. El ducto es fijado con alambre recocido cal. 18, al refuerzo vertical y con la separación indicada.

El corte del cable, obviamente, ha sido iniciado con la debida anticipación; como se comentó antes, se aprovecha el avance del andamio colgante para insertar el cable en los ductos antes preparados y ahogados en los colados realizados en cada etapa.

En lo que respecta a la 3a etapa, tensado e inyección, para llevarla a cabo era necesario tener, en el concreto, una resistencia del 80% de la especificada; a los 7 días se tiene una resistencia del 75% de la resistencia de diseño, por lo que se optó dejar esta actividad para un período de 14 días, después del colado correspondiente; teniendo como dato que el período aproximado para cada trepada de la cimbra era de 7 días, llegado el momento de tensar los cables, se tuvo que colgar de la cimbra una canastilla en cada contrafuerte, sostenida del andamio colgante, esto debido al avance del conjunto de la cimbra. Con la medida anterior, se

solucionó el problema de que el andamio colgante quedara por encima de la zona de trabajo para el tensado e inyección de los cables del presfuerzo.

Debido a la poca área de trabajo en estas canastillas, para cimbrar y colar la zona de anclaje, en cada contrafuerte, fue necesario posteriormente, habilitar un andamio fijo y apoyarlo en el piso ( N +102.800 ) para realizar la 4a etapa.

El equipo con el que se trabajó, en esta actividad, es el siguiente:

- 2 gatos hidráulicos para tensado
- 2 bombas hidráulicas para accionar los gatos
- 2 bombas para inyección de lechada
- 2 agitadores para mezclado de lechada

#### Fabricación de estructura metálica N +163.300 y N +182.100

Puede mencionarse que, cuando se trata de estructura metálica de grandes dimensiones o formas difíciles de transportar, se sigue generalmente la siguiente secuencia: todas las partes o elementos de la estructura, son habilitados y preparados en taller (soldadura de taller, agujeros para tornillos ó remaches, pintura de taller, biceleado para soldadura de campo, etc) y posteriormente son transportados a la obra para su ensamble.

Considerar estas actividades como parte del procedimiento de construcción, es sumamente importante, ya que deberán considerarse dentro del programa de obra, como actividades en las cuales consumiremos recursos y obviamente tiempo, por lo que deberá asignarseles, una fecha de inicio y termino dentro del proceso de la obra.

#### Cono de descarga

Para realizar esta parte de la estructura, hubo que esperar a que se terminase la construcción total de los muros en el silo, debido al riesgo que corría el personal, al trabajar en un área

ubicada debajo de otra con demasiada actividad.

La estructura del cono, representa cierta dificultad en cuanto a la preparación de la cimbra, ya que, debido a la inclinación que tiene la estructura, se hizo necesario cimbrar por ambas caras para poder realizar el colado, según figura 3.12. La construcción del cono, debido a sus dimensiones, se realizó en cuatro secciones, según se muestra en la misma figura 3.12; y la cimbra de contacto utilizada, fue madera (duela) de 1" x 4" x 8".

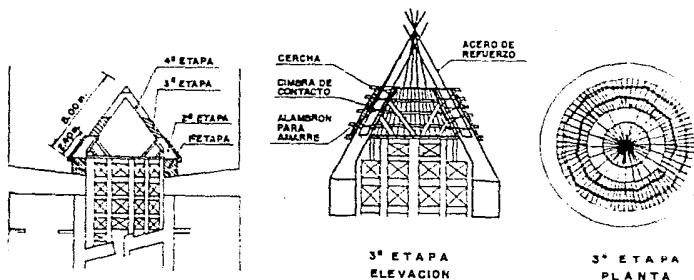


Fig. 3.12 Procedimiento de construcción cono de descarga

La cercha, para habilitar la cimbra, se realizó en madera de 2" x 4", como se muestra en la figura 3.13

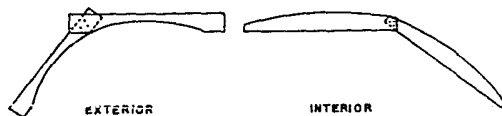


Fig. 3.13 Cerchas para cimbra en madera

### Montaje de estructura metálica N +163.300

Para entender el procedimiento, a partir de esta actividad, es necesario analizar la función que tiene toda la estructura metálica, desde este nivel hasta el N +182.300 y la dependencia estructural entre ellas.

Según la figura 3.14, los tensores AC y BD soportan la estructura CD, embutida en la losa del nivel N +172.450 (ver plano No.1), a su vez, los tensores CF y DG soportan la estructura metálica E,F,G,H (ver plano No. 1 sección B-B); todos los puntos de apoyo, desde A a H, son fijados con soldadura de campo; para los apoyos A,B,E y H, se dejan placas de acero ancladas y ahogadas en los muros

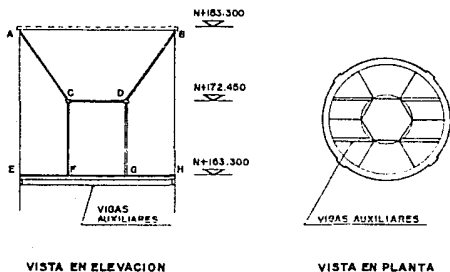


Fig. 3.14 Estructuración para losas en niveles N+163.300 y N+172.450

El procedimiento de montaje de esta estructura, es el siguiente:

- 1a Etapa. Colocación de vigas estructurales auxiliares, bajo la estructura del nivel N +163.300
- 2a Etapa. Armado de toda la estructura metálica del nivel +163.300 y soldadura en los puntos de apoyo E, H / demás perimetrales (plano No. 1 sección B-B)



- 3a Etapa. Colocación de tensores CF y DG y soldadura en los puntos F y G.
- 4a Etapa. Armado de estructura metálica del nivel N +172.450 y soldadura en los puntos de apoyo C y D.
- 5a Etapa. Colocación de los tensores AC y BD y soldadura en todos sus puntos de apoyo.

Una vez terminadas todas las etapas anteriores se procede a retirar las vigas auxiliares, para ello, son bajadas hasta el fondo del silo y elevadas, cada una, por uno de sus extremos.

#### Losa nivel N +163.300

La construcción de este entrepiso consiste en lo siguiente:

- 1a Etapa. Construcción de precolados
- 2a Etapa. Colocación de precolados en estructura metálica N +163.300
- 3a Etapa. Colado de firme en N +163.300

Los precolados, como su nombre lo indica, son elementos unitarios que se fabrican previamente, antes de ser colocados en su posición final, para cumplir su función estructural. Para llevar a efecto su fabricación, fue necesario construir una plantilla de concreto, para en ella, trazar la forma de estas pequeñas losas armadas de 10 cm de espesor, donde, una vez colocada la cimbra y el refuerzo, se procede a su colado. Tanto los precolados de este nivel, como los del nivel +182.300, se fabricaron en dos etapas, como se indica en la figura 3.15.

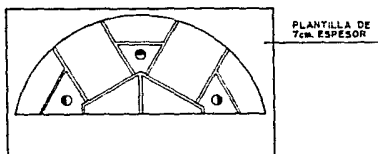


Fig. 3.15 Construcción de precolados

Instalados los precolados, sobre la estructura metálica, se calafatean con mortero cemento arena y se cuela sobre ellos, un firme de 10 cm de espesor, con el fin de formar el piso de la losa N +163.300.

Columnas a nivel N +171.550 ( h = 8.25 m )

La posición de las columnas se puede ver en el plano No 1, en la sección B-B; el procedimiento seguido para su construcción es el siguiente:

- 1o. Ahogar en el muro del silo placas metálicas con sus respectivas anclas.
- 2o. Soldar anclas a las placas ahogadas
- 3o. Armado y cimbrado (por secciones) de las columnas.
- 4o. Colado de las columnas.

La primera etapa, de hecho, se llevó a cabo desde la construcción del muro del silo; la segunda se efectúa una vez que se terminan los trabajos relativos al bajado de la cimbra trapante y la tercera y cuarta etapas, se realizan una vez que se tiene terminada la losa del N +163.300.

En la figura 3.16 se representa ésta actividad.

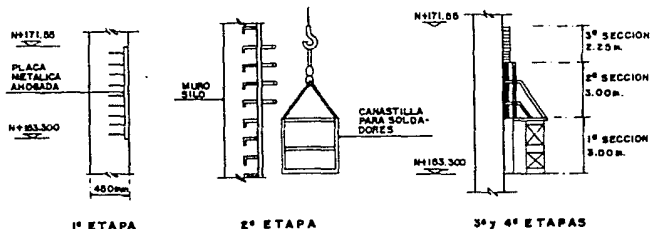


Fig. 3.16 Vista en elevación construcción columnas N+171.55

Losa N + 172.450 de  $e = 0.90$  m

La ventaja de tener construida la losa N +163.300, se refleja en este nivel, ya que es el punto de apoyo para la cimbra de esta losa.

- 1a Etapa. Colocación y armado de andamio metálico (obra falsa)
- 2a Etapa. Colocación cimbra de contacto para losa
- 3a Etapa. Colocación y armado del acero de refuerzo y cimbra circular, en huecos para tolvas metálicas.
- 4a Etapa. Colocación de concreto con bacha.
- 5a Etapa. Descimbrado y retiro del andamio metálico, por los huecos (ver plano No.1 sección A-A).

La figura 3.17 muestra el procedimiento seguido para su construcción.

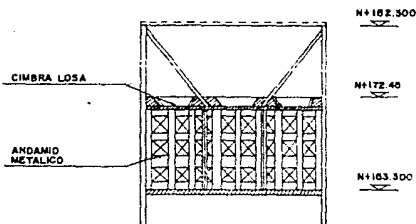


Fig. 3.17 Construcción losa N+172.45

Muros interiores a N + 182.100 (  $h = 9.65$  m )

Estos muros están desplazados en la losa N +172.45 y terminan en la losa N + 182.300, formando siete celdas, con una altura de 9.65 m, por lo que fueron colados en secciones de 3.00 m cada una.

Debido a que la actividad que representa mayor volumen es la cimbra, se decidió habilitarla para colar 5 muros (figura 3.18), de 3.0 m de altura, y terminados éstos, utilizar esta misma cimbra para el colado de otros 5 muros; es decir, darle seis usos a la cimbra así preparada; el procedimiento es similar al de construcción de las columnas del nivel +171.550. En la figura 3.18 se presenta el proceso de construcción de los muros.

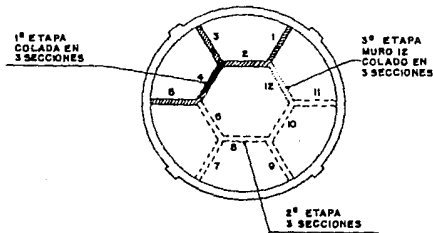


Fig. 3.18 Procedimiento de construcción para muros a N+182.10

#### Montaje de estructura metálica del N +182.100

La colocación de la estructura para este nivel, obedece a que sobre ella se colocan losas precoladas para recibir un firme que constituye el techo del silo, para ello, se han dejado placas ahogadas tanto en el muro del silo como en los muros interiores de la etapa anterior; por lo que la estructura metálica, se solda en campo a estas placas y la armazón entre vigas se realiza mediante tornillos, al igual que en la etapa del nivel N +163.300, ya que, esta estructura tiene la misma forma que aquella.

#### Losa N +182.300

El procedimiento de construcción es similar al de la losa N +163.300

## CAPITULO CUATRO

### ANALISIS DE COSTOS Y PRESUPUESTO

En general, el análisis de un costo es la evaluación monetaria de un proceso determinado cuando se desea obtener un producto; esta basado en condiciones periféricas de tiempo, lugar y secuencia de eventos.

Intentar conocer de alguna manera el costo de una obra en particular, constituye uno de los pasos del proceso de construcción; esta etapa, está principalmente encaminada a conocer con anticipación en forma racional, analítica y lo más apegada posible a la realidad, la erogación total "aproximada" que deberá hacerse para la realización de la obra deseada. El método tradicional de saberlo lo constituye, sin duda alguna, el presupuesto.

El presupuesto no es otra cosa que anticipar una serie de suposiciones controladas a un tiempo inmediato; es decir suposiciones que resultan del análisis de datos (costos de insumos, consumos y desperdicios) aplicables al menor tiempo posible. Se dice que es "aproximado" debido a la movilidad y dinamismo inesperado, con el que los insumos trascurren durante el período de construcción. Por esta razón, es raro que el presupuesto, para un proyecto determinado, sea igual al gasto final erogado para el mismo; más aun, no siempre el presupuesto que se presenta por primera vez es aceptado, siendo necesaria su modificación mediante ajustes pactados con el propietario del proyecto.

El objetivo de este capítulo, es hacer la consideración de los elementos más importantes que determinan el costo de una obra; así mismo, se analizarán, bajo este criterio, los conceptos más representativos de la estructura del silo.

Al analizar costos, está comunmente aceptado dividirlos en dos aspectos básicos, el estudio de los costos directos y el de los costos indirectos.

## COSTOS DIRECTOS

Son todas las erogaciones que se efectúan exclusivamente para realizar un concepto de trabajo; aclarando, son los gastos producidos por la integración de materiales, mano de obra y equipo necesarios para la realización de un producto. Se recomienda sean analizados por separado, siguiendo siempre el criterio de reducirlos a sus componentes unitarios.

### A. Costos de materiales

Los materiales, ya sean naturales o elaborados, tienen inclusive para un mismo tipo, diversos "precios de adquisición", debido principalmente a diferentes calidades, lugar de fabricación u obtención y/o volúmenes de compras. El precio de adquisición puede variar básicamente por las fluctuaciones, tanto de disponibilidad del material en sí (problemas para su fabricación) como por las ocasionadas por la oferta y la demanda.

De esta manera, los gastos por materiales serán componentes de un costo unitario, considerando, su costo en función del tiempo y lugar de aplicación.

El costo de las operaciones, para llevar el material de la fuente origen al lugar de consumo, debe integrarse al costo de adquisición; estas operaciones se resumen en carga, transporte y descarga del material en la obra. Por lo tanto, el costo del material que se toma para integrar el costo unitario, de un concepto de trabajo, es el "costo del material en obra".

La lista que sigue contiene casi la mayoría de los materiales empleados en la construcción del silo, con su respectivo costo en obra:

### LISTA DE MATERIALES

1. Cemento	\$ 122,309.14 ton	9. Madera ó cimbra	
2. Arena	23,664.30 m <sup>3</sup>	Duela <sup>5</sup>	\$ 3,540.84 pz
3. Grava	12,871.67 m <sup>3</sup>	Barrote <sup>6</sup>	6,982.78 pz
4. Agua	408.33 m <sup>3</sup>	Polín <sup>7</sup>	11,617.68 pz
5. Refuerzo		10. Vigas	
No. 3	1'123,650.00 ton	Varias medidas	2,585.00 PT
No. 4	1'173,910.00 ton	11. Charola metálica	94,756.65 pz
No. 5	1'011,670.00 ton	12. Aditivo retardante	5,283.00 lt
No. 6	937,810.00 ton	13. Curacreto blanco	3,328.00 lt
No. 8	897,630.00 ton	14. Desencofrante	2,129.82 lt
No. 10	740,960.00 ton	Aceite lubricante para Motor:	
No. 12	219,570.00 ton	15. Motor a diesel	2,299.00 lt
6. Alambre Recocido		16. Motor a gasolina	1,760.00 lt
Cal. 18	1,402.47 Kg	17. Aceite hidráulico	2,972.00 lt
7. Acero de		18. Gasolina	493.00 lt
presfuerzo	1'783,810.00 Rollo	19. Diesel	445.00 lt
8. Mufa p/acpmt.	2'293.28 Pza.	20. Energía Eléctrica	\$ 50.25 Kw-h
		21. Clavo de 2 1/2" y 4"	1,651.00 Kg

#### Análisis de costos por materiales

A manera de ejemplo, presentamos los siguientes análisis de costo por materiales, para concreto, acero de refuerzo y cimbra, esta última no considera la cimbra trepante.

<sup>5</sup> Duela de 1"X 4"X 8'

<sup>6</sup> Barrote de 2"X 4"X 8'

<sup>7</sup> Polín de 4"X 4"X 8'

### ANALISIS AUXILIAR No. 1

**ESPECIFICACION:** CONCRETO F' C=150 KG/Cm<sup>2</sup>. RESISTENCIA NORMAL, AGREGADO MAXIMO 1 1/2" Y CON REVENIMIENTO DE 18 cm (INCLUYE DESPERDICIO).
 UNIDAD: M<sup>3</sup>

C O N C E P T O	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
CEMENTO TIPO II	TON	0.240	\$ 122,309.14	\$ 29,354.19
ARENA	M <sup>3</sup>	0.682	29,664.30	14,955.83
GRAVA	M <sup>3</sup>	0.789	12,871.67	10,078.51
AQUA	M <sup>3</sup>	0.120	408.53	48.99
=====				
COSTO DIRECTO				\$ 54,437.52

### ANALISIS AUXILIAR No. 2

**ESPECIFICACION:** CONCRETO F' C=250 KG/Cm<sup>2</sup>. RESISTENCIA NORMAL, AGREGADO MAXIMO 3/4" Y CON REVENIMIENTO DE 18 cm (INCLUYE DESPERDICIO).
 UNIDAD: M<sup>3</sup>

C O N C E P T O	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
CEMENTO TIPO II	TON	0.380	\$ 122,309.14	\$ 46,477.47
ARENA	M <sup>3</sup>	0.591	23,664.30	14,002.16
GRAVA	M <sup>3</sup>	0.909	12,871.67	11,700.34
AQUA	M <sup>3</sup>	0.115	408.53	46.95
=====				
COSTO DIRECTO				\$ 72,226.92



ANALISIS AUXILIAR No. 3

ESPECIFICACION: CONCRETO F'c=350 kg/cm<sup>2</sup>, RESISTENCIA UNIDAD: M3  
 NORMAL, AGREGADO MAXIMO 3/4" Y  
 CON REVENIMIENTO DE 18 cm (INCLUYE  
 DESPERDICIO).

C O N C E P T O	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
CEMENTO TIPO II	TON	0.400	\$ 122,809.14	\$ 49,023.65
ARENA	M3	0.5992	23,064.30	14,170.65
GRAVA	M3	0.909	12,871.67	11,700.94
AGUA	M3	0.110	408.83	44.91
				*****
			COSTO DIRECTO	\$ 74,848.55

Estos auxiliares son los tres tipos de concreto utilizados en plantilla (150 kg/cm<sup>2</sup>), losa de cimentación (250 kg/cm<sup>2</sup>) y muros (350 kg/cm<sup>2</sup>) respectivamente.

Para realizar el análisis auxiliar del acero de refuerzo, y ya que se utilizaron todos los diámetros enlistados, haremos un promedio del costo, de ellos, de la manera siguiente:

Varilla No.	Unidad	Costo en obra
3	Kg	\$ 1'123,840
4	Kg	1'173,910
5	Kg	1'011,670
6	Kg	937,810
8	Kg	897,630
10	Kg	740,980
12	Kg	219,570
		*****
	SUMA:	\$ 6'105,190 / 7 =
	COSTO PROMEDIO:	\$ 872,170 / Ton

INCREMENTOS: Ganchos (9.1%), traslapes (4.2%), desperdicios (3.3%);  
 Promedio total = 9.1 + 4.2 + 3.3 = 16.6 %;

Por lo tanto:  $1.166 \times \$ 872.170 / \text{ton} = \$ 1'016,950.20 / \text{ton}.$

Consideremos que el número de kilos de alambre para armar una tonelada de acero de refuerzo, según los diámetros usados, es de 45Kg; así que:

$$45 \text{ Kg} / 1000 \text{ Kg} = 0.045 \text{ Kg} / \text{Kg}$$

#### ANALISIS AUXILIAR No. 4

ESPECIFICACION: ACERO DE REFUERZO  $FY = 4200 \text{ KG/cm}^2$  UNIDAD: Kg  
 INCLUYE ALAMBRE PARA AMARRE

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
VAR. CORRUGADA 0-42	TON	0.001	\$ 1'016,950.20	\$ 1'016.95
ALAMBRE REC. CAL 18	KG	0.045	1,402.47	63.11
				=====
COSTO DIRECTO				\$ 1'080.06

Ahora haremos el análisis de dos tipos de cimbra, para muros y losas; consideraremos charola metálica para la cimbra de contacto:

PARA MURO

SE CONSIDERA:

$h = 3.00 \text{ m}$

Longitud de charola

$L = 3.00 \text{ m}$

Area =  $9.0 \text{ m}^2$

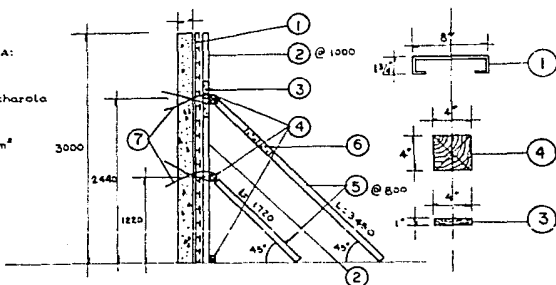


Fig. 3.1 Cimbra en muros -sección transversal-

① CHAROLA METALICA DE 4 CM X 20 X 300 CM  
 $h/b' = 3.00/0.20 = 15 \text{ pza} \rightarrow 15 \text{ pza}/\rho \text{ m}^2 = 1.667 \text{ pza}/\text{m}^2$

② BARROTE 2'' X 4'' X 8'  
 $h/b' = 3.00/2.44 = 1.229 \text{ pza}/\text{lin a/c } 1.0 \text{ m}$   
 $L/@ = 3.00/1.0 = 3 = 4 \text{ lin} \times 1.229 \text{ pza}/\text{lin} = 4.916/\rho \text{ m}^2 = 0.546 \text{ pza}/\text{m}^2$

③ CACHETE DE 1'' X 4'' X 0.40 M  
 $2 \text{ pza}/\text{lin} \times 4 \text{ lin} = 8 \text{ pza}$   
 $y 2.44\text{m}/0.40 = 6.1 \text{ pza} \rightarrow 8 \text{ pzas}/6.1 \text{ pzas} = 3.11 \text{ pza}/\rho \text{ m}^2 = 0.146 \text{ pza}/\text{m}^2$

④ CARGADOR DE 4'' X 4'' X 8'  
 $L/b' = 3.0/2.44 = 1.229 \text{ pza}/\text{lin} \times 3 \text{ lin} = 3.68 \text{ pza}/\rho \text{ m}^2 = 0.4008 \text{ pza}/\text{m}^2$

⑤  $L_1 + L_2 = 3.45 + 1.72 = 5.17\text{M}/b' = 5.17/2.44 = 2.118 \text{ pza}/\text{lin}$   
 $L/@ = 3.0/0.80 = 3.75 \text{ lin} \rightarrow 2.118 \times 3.75 = 7.94 \text{ pza}/\rho \text{ m}^2 = 0.8825 \text{ pza}/\text{m}^2$

⑥ CACHETE 1'' x 4'' x 40 cm  
 $2 \text{ pza}/\text{lin} \times 3.75 \text{ lin} = 7.5 \text{ pza}/6.1 = 1.229 \text{ pza}/\rho \text{ m}^2 = 0.1366 \text{ pza}/\text{m}^2$

CLAVO DE 2 1/2'' EN:

③ d pza/lado x 2 = 12 pza/lin x 4 lin = 48 pza

⑥ d pza/lado x 2 = 12 pza/lin x 3.75 ling = 45 pza

=====

SUMA: 93 PZA

$93 \text{ PZA}/\rho \text{ m}^2 = 10.33 \text{ pza}/\text{m}^2 \times 0.0041 \text{ kg. pza} = 0.0413 \text{ kg}/\text{m}^2$

CLAVO DE 4'' EN:

① CONTRA ② 15 ch x 2 pza/ch = 30 = 30 pza/lin x 4 = 120 pza

② CONTRA ④ 8 pza/carg x 3carg = 9 pza/lin x 4 = 36 pza

④ CONTRA ⑤ 2 pza/carg x 2carg = 4pza/lin x 3.75 = 15 pza

=====

SUMA: 171 PZA

$171 \text{ pza}/\rho \text{ m}^2 = 19 \text{ pza}/\text{m}^2 \times 0.007 \text{ kg/pza} = 0.133 \text{ kg}/\text{m}^2$

⑦ ALAMBRO PARA COGER:

L = muro + cimbra + amarre

L = 0.40 + (0.35)2 lados + 0.25=1.35 x 2 hilos = 270 m/amarre

2.70 m/amarre x 3 amarres/lin = 8.1 m/lin x 4 line 32.4 m

32.4 m x 0.251 kg/m = 8.1 kg/D m<sup>2</sup> = 0.003d kg/m<sup>2</sup>

RESUMEN:

DUELA = 0.14d + 0.13dd = 0.282d PZA/M<sup>2</sup>

POLIN = 0.409d + 0.8825 = 1.2925 PZA/M<sup>2</sup>

CLAVO 2 1/2" = 0.0413 KG/M<sup>2</sup>

CLAVO 4" = 0.133 KG/M<sup>2</sup>

SUMA CLAVO = 0.1743 KG/M<sup>2</sup>

ANALISIS AUXILIAR No. 5

ESPECIFICACION: CIMBRA EN MUROS DE 40 CM DE ESPESOR UNIDAD:M2  
O SIMILARES HASTA UNA H=5.00 (INCLU-  
YE DESPERDICIO).

C O N C E P T O	UN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
CHAROLA METALICA				
(1.007/100 usos)	pza	0.01067	\$ 4,75d.05	\$ 1,57d.59
BARROTE				
(0.54d+10M desp/8usos)	pza	0.1001	0,982.7d	608.07
DUELA				
(0.282d-10ndesp/4usos)	pza	0.0777	3,340.84	275.17
POLIN				
(1.2923+10ndesp/8usos)	pza	0.17769	11,617.48	2,064.36
CLAVO 2 1/2" Y 4"				
(0.1743+ 7ndesp/1 uso)	kg	0.18d5	1,651.00	307.01
				=====
			COSTO DIRECTO	\$ 4,92d.00

PARA CIMBRA EN LOSA,

SE CONSIDERA:

$L = 3.00 \text{ m}$

Ancho =  $3.0 \text{ m}$

Area =  $9.0 \text{ m}^2$

La cimbra se encuentra apoyada sobre andamio metálico.

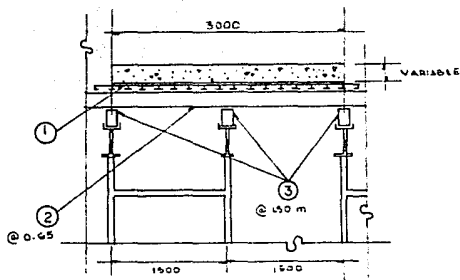


Fig. 3.2 Cimbra en losas - Secc. Transversal -

- ① CHAROLA METALICA 4 X 20 X 300 CM

$$3.00 / 0.20 = 15 \text{ pza} / 9 \text{ m}^2 = 1.67 \text{ pza} / \text{m}^2$$

- ② VIGA MADRINA DE 5'' X 7'' X 10' @ 0.45 CM

$$3.00 / 0.45 = 4.44 \times 1 = 5.44 \text{ lin} \times 1 \text{ pza} / \text{lin} = 5.44 \text{ pza} / 9 \text{ m}^2 = 0.604 \text{ pza} / \text{m}^2$$

$$1 \text{ pza} = (5'' \times 7'' \times 10') / 12 = 29.16 \text{ P.T.} / \text{pza} \times 0.604 \text{ pza} / \text{m}^2 = 17.61 \text{ P.T.} / \text{m}^2$$

- ③ VIGA MADRINA DE 5'' X 8'' X 10'

$$3 \text{ lin} \times 1 \text{ pza} / \text{lin} = 3 \text{ pza} / 9 \text{ m}^2 = 0.33 \text{ pza} / \text{m}^2$$

$$1 \text{ pza} = (5'' \times 8'' \times 10') / 12 = 33.33 \text{ P.T.} / \text{pza} \times 0.333 = 11.10 \text{ P.T.} / \text{m}^2$$

CLAVO DE 4'' EN:

- ② CONTRA ① 15 CHAROLAS X 2 PZA. / CH = 30 PZA. / LIN X 5.44 LIN = 163.2 PZA

$$163.2 \text{ PZA} \times 0.007 \text{ KG} / \text{PZA} = 1.142 \text{ KG} / \text{PZA} = 0.1309 \text{ KG} / \text{m}^2$$

- ② CONTRA ② 2 pza / lin x 5.44 / 2 = 5.44 pza

$$5.44 \text{ pza} \times 0.007 = 0.038 \text{ KG} / \text{PZA} = 0.0043 \text{ KG} / \text{m}^2$$

- ② CONTRA ③ 4 pza / carg x 3 carg = 12 pza / lin x 5.44 lin = 65.28 pza

$$65.28 \text{ pza} \times 0.007 \text{ KG} / \text{PZA} = 0.457 \text{ KG} / \text{PZA} = 0.05236 \text{ KG} / \text{m}^2$$

$$\text{SUMA CLAVO: } 0.1309 + 0.0043 + 0.05236 = 0.1876 \text{ KG} / \text{m}^2$$

ANALISIS AUXILIAR No. 6

ESPECIFICACION: CIMBRA EN LOSAS DE P=200 CM NO IN- UNIDAD:M2  
 INCLUYE ANDAMIO METALICO.

C O N C E P T O	UN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
CHAROLA METALICA (1.667/100 usos)	pza	0.01667	\$ 94,756.65	\$ 1,579.59
VIGA M 5'' X 7'' X 10'	P. T.	1.11038	2,585.00	2,870.33
VIGA M 5'' X 8'' X 10'	P. T.	0.67833	2,585.00	1,753.48
CLAVO 4'' (0.18766+7M/1 uso)	kg	0.2008	1,651.00	331.51
				=====
			COSTO DIRECTO	6,534.91

B. Costos de mano de obra

La valuación del costo de la mano de obra es un problema, que depende principalmente de los diferentes procedimientos de construcción, según el material y tecnología que se apliquen en el proceso, del grado de dificultad para lograrlo, de las relaciones laborales que intervienen al ejecutarlo (forma de pago) y en buena parte, de las condiciones inherentes, al lugar de desarrollo de la obra. Por ejemplo, si en el lugar no existe mano de obra especial para trabajar un material o equipo indicado en el procedimiento, ésta tendrá que ser llevada de otros lugares; haciéndose necesario considerar en su costo, los gastos por traslado o permanencia del personal en obra.

Análisis de salarios reales

En esta sección se considerarán, los factores que afectan tanto al salario base de los obreros como a su capacidad de

producción; para efectos del análisis, es indispensable considerar las obligaciones legales contraídas por el constructor, al contratar personal obrero.

Comenzaremos por definir al salario diario base, como el pago en efectivo que se da al trabajador por día transcurrido (incluye domingos, días festivos y vacaciones), hasta el término de su contrato.

Es práctica común considerar, como salario base, el que determina la Comisión Nacional de Salarios Mínimos (CNSM) y que es obligatorio para las vigencias, zonas y categorías de trabajadores que ahí se establecen.

Como resultado de las consideraciones anteriores y de las obligaciones legales, que adelante mencionaremos, se tendrá la erogación total del patrón por día trabajado, que incluye, el pago en efectivo al trabajador, prestaciones e impuestos pagados al gobierno e instituciones de beneficio social, y que no es otra cosa que el salario real, objeto de este análisis.

#### Prestaciones y derechos

Para cumplir con las disposiciones que marca la ley sobre estos rubros, hasta la fecha se consideran como tales: la prima vacacional, aguinaldo, seguro social, impuesto sobre remuneraciones pagadas, guarderías e infonavit; por ser elementos que se aplican directamente sobre el salario base diario, es necesaria su consideración en la determinación del salario real.

A continuación y a manera de ejemplo, realizamos el análisis que corresponde al salario mínimo y uno mayor al mínimo de los indicados por la C.N.S.M. para el D.F., a partir del 1o. de enero de 1980, y que sirvieron de base para integrar los costos unitarios por mano de obra para el proyecto en estudio.

S A L A R I O S

CATEGORIA	Según la C N S M	Para la obra en particular:
Peón (Salario mínimo diario)	\$ 8,640.00	\$ 8,640.00
Oficial <sup>a</sup> (Salario mayor al mínimo)	\$ 12,615.00	\$ 14,138.49

1. Prima vacacional

Según la Ley Federal del Trabajo (Artículo 80), le corresponde al trabajador una prima no menos del 25% del salario, que le corresponda para un período mínimo de 6 días de vacaciones.

De esta manera tenemos:

$$\text{el 25\% de (6 días/365 días)} = 0.004109 \times 100 = 0.411\%$$

$$\text{Por lo tanto: para el sal. mínimo: } \$ 8,640.00 \times 0.411\% = \$ 35.51$$

$$\text{para el oficial : } 14,138.00 \times 0.411\% = 58.11$$

2. Aguinaldo

De la Ley Federal de Trabajo (Artículo 87), se desprende que, el trabajador deberá recibir anualmente un aguinaldo equivalente a 15 días de salario como mínimo.

$$\text{Entonces: } 15 \text{ días/365 días} = 0.041098 \times 100 = 4.11\%$$

$$\text{Por lo tanto: Peón } \$ 8,640.00 \times 4.11\% = \$ 355.10$$

$$\text{Oficial } 14,138.49 \times 4.11\% = 581.09$$

Integrando hasta aquí, obtenemos un primer costo:

$$\text{Peón } \$ 8,640.00 + 35.51 + 355.10 = \$ 9,030.61$$

$$\text{Oficial } 14,138.49 + 58.11 + 581.09 = 14,777.69$$

Es una obligación de todo patrón, inscribir a sus trabajadores en el Instituto Mexicano del Seguro Social, a fin de

<sup>a</sup> Para el análisis, no se consideró el que indica la CNSM; ya que, exclusivamente al oficial, se le pagó un sueldo más atractivo, debido a que en el lugar no existe la mano de obra requerida.



darles seguridad en el trabajo, asistencia médica, servicios sociales y prestaciones; esto lo establece la Ley del Seguro Social (art. 19), reformada y publicada el 12 de marzo de 1973; dentro de la cual y para el régimen obligatorio, se comprenden los seguros de Riesgos de Trabajo (R.T.), Enfermedad y Maternidad (E y M), Invalidez -Vejez- Cesantía en edad avanzada y Muerte (I.V.C.), y Guarderías para hijos de asegurados.

En el cuadro IV.I se indican los porcentajes de aplicación, a la percepción base, para el pago de las cuotas por los seguros de E. y M., y de I.V.C., que fijó el IMSS, con vigencia a partir de enero de 1989.

CUADRO IV.I

RAMOS DEL SEGURO								
ENFERMEDAD Y MATERNIDAD			INVALIDEZ, VEJEZ, C.E.A. Y MUERTE			TOTAL		
PATRON	ASEGU- RADO	CUOTA OBRERO PATRON	PATR.	OBRER.	OBRERO PATRON	PATR.	OBRER.	OBRERO PATRON
MM 8.40 N	5.00 N	11.4 N	4.20 N	1.50 N	5.70 N	12.60N	4.5 N	17.10 N MM

MM Reformas publicadas el día 4 de enero de 1989

Según el artículo 42 de la Ley del Seguro Social, el patrón debe pagar íntegramente las cuotas señaladas, para los trabajadores que sólo perciban el salario mínimo. Lo que significa que, en el caso del peón, el patrón deberá pagar el total de la cuota Obrero Patronal.

El artículo 78 de la misma Ley, tiene establecido que las cuotas para cubrir el seguro de R.T., se determinan en relación a la cuota obrero patronal (E 70%), del seguro de I.V.C. y según la

clasificación que tenga la empresa con el grado de riesgo que el Instituto le califique; en el artículo 79, de esa Ley, se fijan las primas a cubrir, atendiendo la clasificación mencionada. En la tabla 4.1 se resume la información correspondiente.

TABLA 4.1

CLASE DE EMPRESA SEGUN LA CLASI - FICACION EN GRA - DO DE RIESGO.	GRADOS DE RIESGO			PRIMAS PARA CUOTA POR GRADO MEDIO DE RIESGO DEL .IM - PORTE DEL SEGURO DE I. V. C.
	MIN	MED	MAX	
I	1	3	5	4.5%
II	4	9	14	13.81%
III	11	24	37	36.84%
IV	30	45	60	69.07%
M V	50	80	100	115.12%

\* Clasificación que corresponde a las empresas de la industria de la construcción.

Debido a lo que establecen los artículos 80, 81 y 82 de la Ley del Seguro, al tipo de obra en cuestión se le clasifica con grado 100, correspondiéndole una prima de 153.503%.

Para obtener el porcentaje por R.T. procedemos de la siguiente manera:

Del cuadro IV.I la prima por el Seguro de I. V. C. es de 5.7% y el 153.503% de esa cantidad es:  $5.7\% \times 153.503\% = 8.7498\%$

Por lo tanto, el Seguro por R.T. = 8.75%

En lo que respecta a la prima para cubrir el seguro de guarderías, no existe mayor problema, ya que esta se fija en el 1% sobre el salario más las prestaciones.

### 3. Seguro Social

Integrando el porcentaje que deberá ser cubierto por el patrón por concepto de primas al Seguro Social tenemos:

a) Para salario mínimo:

Enfermedad y Maternidad (cuadro IV.I) :	11.40 %
Invalidez, Vejez, etc. (cuadro IV.I) :	5.70 %
Riesgo de Trabajo 153.503% de 5.70 :	8.75 %*
Guarderías :	1.00 %
* Para esta obra, en particular.	=====
S U M A :	26.85 %

b) Para salarios mayores al mínimo:

Del porcentaje obtenido en a), sólo deduciremos la cantidad que le corresponde cubrir al asegurado como sigue:

Enfermedad y Maternidad (cuadro IV.I) :	3.00 %
Invalidez, vejez, etc. (cuadro IV.I) :	1.50 %
	=====
S U M A :	4.50 %

Por lo tanto corresponderá al patrón cubrir lo siguiente:

$$26.85 \% - 4.5 \% = 22.35 \%$$

Aplicándolos al primer costo obtenido tenemos:

$$\text{Peón } \$ 9,030.61 \times 26.85\% = \$ 2,424.71$$

$$\text{Oficial } \$ 14,777.69 \times 22.85\% = \$ 3,302.81$$

### 4. Impuesto sobre remuneraciones pagadas (ISRP.)

Es decreto de la Secretaría de Gobernación que se pague el 1 % de las percepciones de los trabajadores, por aquellos que efectúen una erogación por concepto de remuneración para cualquier trabajo.

Peón        \$ 9,030.61 x 1%    = \$ 90.30  
Oficial    \$ 14,777.69 x 1%    = \$ 147.77

## 5. INFONAVIT

Según el artículo 136 de la Ley Federal de Trabajo, todas las empresas que tengan trabajadores a su servicio, deberán aportar el 5% sobre el salario integrado al Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los trabajadores.

Peón        \$ 9,033.61 x 5%    = \$ 451.53  
Oficial    \$ 14,777.69 x 5%    = \$ 738.88

La Ley excime al patrón de este impuesto cuando se contrata Obra Pública. Por lo que el contratista debe considerarlo dentro de su utilidad.

Para obtener el segundo costo, sumamos al primero los conceptos por Seguro Social, I.S.R.P. e INFONAVIT.

Peón        \$ 9,030.61 + 2,424.71 + 90.30 + 451.53 = \$ 11,997.15  
Oficial    \$ 14,777.69 + 3,302.81 + 147.77 + 738.88 = \$ 18,967.15

### Factor de salario

Es necesario tomar en cuenta que el medio ambiente, las costumbres del lugar y la Ley Federal de Trabajo, afectan el periodo realmente trabajado del que se considera para pago de salarios; es decir, si consideramos que las prestaciones mínimas a que tiene derecho el trabajador se calculan para un año, deberemos entonces considerar las eventualidades que puedan presentarse para un periodo igual.

Para evaluar las condiciones expuestas, se calcula el factor de salario como sigue:

Realmente y de acuerdo a la Ley, el trabajador debe percibir:

como un mínimo anual, los pagos siguientes:

Por pago diario (incluidos los domingos), Art. 83; 365 días  
Por prima vacacional, Arts. 76 y 80,  $0.25 \times 6$  días; 1.5 días  
Por aguinaldo, Art. 87; 15 días

=====

Días pagados por año = 381.5 días

De acuerdo con la Ley los trabajadores deben descansar con goce de salario los siguientes días:

Por séptimo día, Art. 69,

365 días / 7 días/semana = 52 domingos → 52 días

Por días festivos, Art. 74

10. Enero (Cae en domingo para 1989)

5 Febrero (Cae en domingo para 1989)

21 Marzo \*

1 Mayo \*

15 Septiembre \*

20 Noviembre \*

25 Diciembre \*

10 de Diciembre cada 6 años, (No), cambio de poder en el gobierno federal cada 6 años.

} 5 días

Por vacaciones, Art. 76;

6 días

=====

S U B T O T A L 83 días

\* SON LOS DIAS QUE SE CONSIDERAN PARA ESTE CASO.

Por experiencia, se deben considerar, a criterio de las empresas, los siguientes días en que no se laborará.

Por días de costumbre

3 Mayo \*

''Jueves Santo'' (No)

''Viernes Santo'' \*

''Sábado de gloria'' \*

1 Noviembre (No)

2 Noviembre *	5 días*
12 Diciembre *	
''Santo Patrón'' (No)	
Por enfermedad no profesional;	2
Por mal tiempo	3.5 días
	=====
S U M A :	+ 10.5 días
	63.0 días
	=====
TOTAL DE DIAS NO TRABAJADOS:	73.5 días

\* Son los días considerados en este estudio.

Si consideramos que el año calendario tiene 365 días  
y descontamos los días no trabajados - 73.5

=====

Obtenemos el tiempo realmente trabajado; 291.5 días  
y sabiendo que los días pagados al año deben ser 381.5.  
podemos integrar el factor de salario de la manera siguiente:

$$\text{Factor de Salario} = \frac{381.5 \text{ días pagados}}{291.5 \text{ días trabajados}} = 1.3087$$

Por lo tanto: F.S. = 1.31

Que debe ser aplicado al segundo costo para obtener un  
tercero:

Peón	\$ 11,997.15 x 1.31	= \$ 15,718.26
Oficial	\$ 18,967.15 x 1.31	= \$ 24,846.96

Existen dos factores mas. que como mencionamos anteriormente,  
afectan directamente el salario del trabajador. porque están  
vinculados con la producción del personal.

Factor de zona

El factor de zona. se debe considerar principalmente para

corregir específicamente el rendimiento por grupo de trabajo, según las características del lugar de la obra; en este caso y dado que existe un acuerdo entre el propietario de la estructura y la contratista, para pagar a los trabajadores el salario correspondiente al D.F., consideramos el factor de zona F.Z. = 1.0 que es el que corresponde a la Cd. de México según la C.N.S.M.

**Factor de Maestro (varía entre el 5% y 10%)**

Ya que el maestro de obras tiene participación directa en la productividad de la empresa, y a la vez es difícil evaluar su participación en cada una de las actividades o conceptos en que se subdivide una obra; es importante considerarlo como un factor directo en el rendimiento de los trabajadores y por lo tanto, en el salario que estos perciben.

De igual forma, por acuerdo tomado entre el propietario y la constructora, este factor toma el valor de 3 % sobre los salarios integrados con derechos, prestaciones e impuestos.

F.M. = 1.03

Aplicando estos dos factores al tercer costo, anteriormente obtenido, llegamos a la determinación del salario real erogado por el patrón y que servirá de base para calcular el costo por mano de obra, para los conceptos de obra que se especifiquen.

Peón	\$ 15,716.20 x 1.0 x 1.03 =	\$ 16,187.75
Oficial	\$ 24,846.96 x 1.0 x 1.03 =	\$ 25,592.37

En la tabla 4.2, se presentan en resumen los salarios reales para los trabajadores que prestan sus servicios, en la constructora encargada de realizar la obra en cuestión; el cálculo se realizó según el procedimiento empleado en el ejemplo anterior.

TABLA 4.2

CATEGORIA	SALARIO DIARIO	
	BASE	REAL
PEON	\$ 8,640.00	\$ 16,187.75
AYUDANTE CLASE A	9,754.56	17,656.94
OFICIAL ALBAÑIL	14,138.49	25,592.37
CARPINTERO (OFC)	14,138.49	25,592.37
FIERRERO (OFC)	14,138.49	25,592.37
OPERADOR MAGUINARIA	14,138.49	25,592.37
OPERADOR BOMBA CONC.	17,160.76	31,059.60
CHOFER CAMION	14,456.44	26,167.90
BODEGUERO	12,699.88	22,977.47
VELADOR	12,541.82	22,702.23
CABO	17,489.79	31,557.29
MAESTRO DE OBRA	24,571.29	44,477.04

#### Valuación del costo por mano de obra

El salario real obtenido, sirve de base para pagar la M.O. bajo el sistema de lista de raya y que, generalmente, se utiliza cuando se contrata obra mediante precios unitarios; en este caso, es el que usaremos para el estudio.

La forma común de valuar el costo por mano de obra es considerar el rendimiento de unidades de trabajo que pueden ser efectuados por un trabajador o por un grupo de ellos, en una jornada; es decir, en 8 horas de trabajo por día, como indica la Ley, tenemos entonces:

$$\text{COSTO UNITARIO DE TRABAJO} = \frac{\text{Salario Diario Real}}{\text{Rendimiento por Día}}$$

Los rendimientos tanto de mano de obra como de equipo y materiales, pueden ser obtenidos de valores recomendados por las grandes empresas u organismos reconocidos en construcción, pero en particular, se recomienda que estos se obtengan por la constatación



encargada de la obra, mediante registros estadísticos y elaborandolos en función de su experiencia.

Al emplear M. de O. para la realización de una actividad específica, generalmente ésta hace uso de herramienta manual, considerada como herramienta menor; la herramienta utilizada sufre un desgaste natural y por lo tanto, se debe cubrir una cantidad determinada para su reposición. Al evaluar el costo por mano de obra, se usa un factor llamado factor de herramienta menor, precisamente para cubrir este rubro y se acostumbra considerarlo como el 3 % del costo por mano de obra.

Para analizar el costo unitario de trabajo por materiales, mano de obra y equipo, es necesario hacer dos definiciones importantes:

**CONCEPTO DE TRABAJO:** Es el conjunto de operaciones manuales y mecánicas (actividades), que el contratista realiza durante la ejecución de la obra, de acuerdo a los planos y especificaciones; se dividen de manera convencional, para fines de medición y de pago.

**ESPECIFICACIONES:** Son el conjunto de requerimientos exigidos en los proyectos y presupuestos, para definir con precisión y claridad, el alcance de los conceptos de trabajo.

Una especificación, para un concepto determinado, debe contener lo siguiente:

- a) Descripción del concepto de trabajo
- b) Materiales que intervienen y su calidad
- c) Alcance de la ejecución del concepto
- d) Medición para fines de pago
- e) Cargos que incluyen los precios unitarios

En seguida, se presenta el conjunto de especificaciones y conceptos de trabajo más importantes, en los que se subdividió la obra, en ellas son asignadas las cuadrillas de trabajo y los rendimientos considerados por actividad y con los que se hizo el

análisis de costo por mano de obra.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

ESPECIFICACION	ACTIVIDAD	CUADRILLA	No	RENDIMIENTO
CIMBRA RECTA EN CIMENTACION (10 USOS) UN. M2	HABILITACION	1 PEON+1CAR	11	18 M2/JOR
	COLOCACION	1 PEON+CARP	11	6 M2/JOR
	DESCIMBRADO	1 PEON+CARP	11	21 M2/JOR
COLOCACION DE CON- CRETO EN CIMENTA-- CION. UN. M3	DESCARGA	4 PEONES	28	30 M3/JOR
	MANEJO DE TUB.	1 PN +1 OFC	10	30 M3/JOR
	COLOCACION	6 PN+4 OF AB	29	30 M3/JOR
REFUERZO EN CIMEN- TACION UN. KG	HABILITACION Y COLOCACION	1 PEON + 1 FIERRERO	12	140 KG/JOR
TRAZO Y NIVELACION UN M2	TRAZO Y NIVELES	2 AYUD.+ 1 MAESTRO	16	200 M2/JOR
PLANTILLA PARA DES- PLANTE DE CIMENTA- CION UN. M2	DESCARGA DE CONC	2 PEONES	2	15 M3/JOR
	COLOCACION Y ACABADO CONC.	1AYD+1 OF AB	10	50 M2/JOR
ACARREO DE MATERIA- LES UN. KG	CARRA Y DESCAR. ACARREO	6 PEONES 1 CHOFER	25 9	10 TON/JR 10 TON/JR
COLOCACION DE CONCRETO EN MUROS DEL SILO UN. M3	DESCARGA	4 PEONES	28	30 M3/JOR
	MANEJO DE TUB.	1 PEON+1 OF.	10	30 M3/JOR
	COLOCACION	6 PEON+4 AB.	29	30 M3/JOR
CIMBRA CIRCULAR PARA Ø 7.20 Y 5.4 M (8 USOS) UN. M2	HABILITACION	1 PEON+1 CAR	11	24 M2/JOR
	COLOCACION	1 PEON+1 CAR	11	6 M2/JOR
	DECIMBRADO	1 PEON+1 CAR	11	18 M2/JOR

ESPECIFICACION	ACTIVIDAD	CUADRILLA	Nº	RENDIMIENTO
CIMBRA TREPANTE Y ANDAMIO COLGANTE (20 USOS) UN. M2	HAB. DE CIMBRA	2 PEON-2 CAR	15	14 M2/JOR
	HAB. ANDAMIO	4 PEON-4 CAR	28	28 M2/JOR
	ELEVACION CIMBRA Y ANDAMIO	2 PEON-2 CAR	15	90 M2/JOR
	COLOCACION CIMB.	1 PEON-1 CAR	11	5.5M2/JOR
	DESCIMBRADO	2 PEON-2 CAR	15	30 M2/JOR
CURADO DE CONCRETO INCLUYE RECARGA DEL CILINDRO Y ELEVACION DEL PRO- DUCTO UN. M2	APLICACION  DE  CURACRETO	1 PEON	1	120 M2/JR
ELEVACION DE MATE- RIALES CON GRUA UN. KG	CARGA Y AMARRE  DESCARGA	3 PN +0.3CAB	3	13500 KG/JOR
		2 PN +0.2CAB	5	19500 KG/JOR
CIMBRA EN LOSAS INTERMEDIAS UN. M2	HABILITACION	1 PEON-1 CAR	11	24 M2/JOR
	COLOCACION	1 PEON-1 CAR	11	6 M2/JOR
	DECIMBRADO	1 PEON-1 CAR	11	16 M2/JOR
ACERO DE REFUERZO EN MUROS Y LOSAS UN. KG	HABILITACION Y COLOCACION	1 AYUD-1 FIE	12	160 KG/JOR
ARMADO Y DESARMADO DE ANDAMIO PARA COLADO UN. JOR.	ARMADO (1.25JOR) DESARM. (2.5 JOR)	2 PEON-1 OFC	15	115 M2/JOR

**Análisis de costo por mano de obra**

Al igual que para materiales, en los ejemplos No. 1 al No. 6, determinaremos el costo por mano de obra para los ejemplos anotados sin incluir el concepto de herramienta menor, ya que este será integrado, cuando se analicen los precios unitarios correspondientes.

**ANALISIS AUXILIAR No. 1-A**

**ESPECIFICACION: PLANTILLA PARA DESPLANTE DE ESTRUCTURA, DE 10 CM DE ESPESOR. UNIDAD: M2**

C O N C E P T O	UN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
<b>CUADRILLA No. 29</b>				
<b>ACTIVIDAD: DESCARGA DE CONCRETO</b>				
<b>RENDIMIENTO= 15 M3/JOR</b>				
<b>2 PEONES X 16,187.75</b>	JOR	1.0	\$ 32,375.50	
<b>(15 M3/JOR)/(0.1 M3/M2)</b>				
<b>IGUAL A 150 M2/JOR</b>			=====	
<b>(1 M2)/(150 M2/JOR)</b>	JOR	0.00667	32,375.50	\$ 215.94
<b>CUADRILLA No. 10</b>				
<b>ACTIVIDAD: TENDIDO Y ACABADO DE CONCRETO</b>				
<b>RENDIMIENTO=50 M2/JOR</b>				
<b>1 AYUD X 17,656.94</b>	JOR	1.0	17,656.94	
<b>1 OF. A. X 25,592.37</b>	JOR	1.0	25,592.37	
			=====	
	JOR	0.02	43,249.31	864.98
				=====
			<b>COSTO DIRECTO:</b>	<b>\$ 1,080.92</b>

ANALISIS AUXILIAR No. 2-A

ESPECIFICACION: CONCRETO EN CIMENTACION		UNIDAD: M3		
F' C = 250 KG/CM2, ACREADO				
MAX. DE 1 1/4" Ø.				
C O N C E P T O	UN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
CUADRILLA No. 23				
ACTIVIDAD: DESCARGA				
DE CONCRETO				
RENDIMIENTO 30 M3/JOR				
4 PEONES				
JOR		1.0	\$ 64,751.00	
			=====	
JOR		0.033	64,751.00	\$ 215.04
CUADRILLA No. 10				
ACTIVIDAD: MANEJO DE				
TUBERIA				
RENDIMIENTO=30 M3/JOR				
1 PEON				
JOR		1.0	16,187.75	
JOR		1.0	25,502.97	
			=====	
JOR		0.033	41,780.12	\$ 1,391.27
CUADRILLA No. 20				
ACTIVIDAD: COLOCACION				
RENDIMIENTO=30 M3/JOR				
6 AYUDANTES				
JOR		1.0	105,941.64	
JOR		1.0	102,869.48	
			=====	
JOR		0.033	208,311.12	6,936.76
				=====
COSTO DIRECTO:				\$ 10,486.50

ANALISIS AUXILIAR No. 3-A

ESPECIFICACION: CONCRETO EN MUROS		UNIDAD: M3		
F' C = 300 KG/CM2				
C O N C E P T O	UN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
CUADRILLA No. 23	JOR	0.0333	\$ 64,751.00	\$ 2,158.36
CUADRILLA No. 10	JOR	0.0333	41,780.12	1,391.27
CUADRILLA No. 20	JOR	0.0333	208,311.12	6,936.76
				=====
COSTO DIRECTO:				\$ 10,486.39

**ANALISIS AUXILIAR No. 4-A**

**ESPECIFICACION:** ACERO DE REFUERZO EN CIMENTACION F'Y = 4200 KG/CM2 UNIDAD:KG

C O N C E P T O	UN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
<b>CUADRILLA No. 12</b>				
<b>ACTIVIDAD: HABILITACION Y COLOCACION</b>				
<b>RENDIMIENTO= 140 KG/JOR</b>				
1 AYUDANTE	JOR	1.0	\$ 17,656.04	
1 OFICIAL FIERRERO	JOR	1.0	25,502.97	
			*****	
	JOR	0.00714	43,249.91	308.80
				*****
			<b>COSTO DIRECTO:</b>	<b>\$ 308.80</b>

**ANALISIS AUXILIAR No. 4-B**

**ESPECIFICACION:** ACERO DE REFUERZO EN MUROS Y LOSAS F'Y = 4200 KG/CM2 UNIDAD:KG

C O N C E P T O	UN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
<b>CUADRILLA No. 12</b>				
<b>ACTIVIDAD: HABILITACION Y COLOCACION</b>				
<b>RENDIMIENTO = 100 KG/JOR</b>				
	JOR	1.0	\$ 43,249.91	
	JOR	0.00625	\$ 43,249.91	270.91
				*****
			<b>COSTO DIRECTO:</b>	<b>\$ 270.91</b>

**ANALISIS AUXILIAR No. 5-A**

**ESPECIFICACION:** CIMBRA RECTA EN MUROS O SIMILAR. UNIDAD:M2

C O N C E P T O	UN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
<b>CUADRILLA No. 11</b>				
<b>ACT. HABILITACION</b>				
<b>RENDIMIENTO= 18 M2/JOR</b>				
1 AYUDANTE	JOR	1.0	\$ 17,656.04	
1 OFICIAL CARPINTERO	JOR	1.0	25,502.97	
			*****	
	JOR	0.0556	43,249.91	2,404.66

CONTINUA AUXILIAR No. 5-A		(IMPORTE POR HABILITACION) \$ 2,404.00		
C O N C E P T O	UN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
CUADRILLA No. 11 ACT. COLOCACION. RENDIMIENTO: 6 M2/JOR	JOR	0.1667	\$ 43,249.31	7,209.66
CUADRILLA No. 11 ACT. DESCIMBRADO RENDIMIENTO: 21M2/JOR	JOR	0.0476	43,249.31	2,058.61
				=====
COSTO DIRECTO:				\$ 11,672.98

#### ANALISIS AUXILIAR No. 6-A

ESPECIFICACION: CIMBRA EN LOSAS INTERME -		UNIDAD: M2		
DIAS.				
C O N C E P T O	UN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
CUADRILLA No. 11 ACT. HABILITACION REND. = 24 M2/JOR	JOR	0.0416	\$ 43,249.31	\$ 1,802.19
CUADRILLA No. 11 ACTIVIDAD: COLOCACION REND. 6 M2/JOR	JOR	0.1667	43,249.31	7,209.66
CUADRILLA No. 11 ACT. DESCIMBRADO REND. 16 M2/JOR	JOR	0.0625	43,249.31	2,705.08
				=====
COSTO DIRECTO:				\$ 11,714.93

#### C. Costos de maquinaria

Para la valuación del costo por uso de maquinaria ó equipo, en la ejecución de un trabajo, ha sido una práctica común estructurar el análisis de costos, sobre la base del costo de operación por hora de las máquinas; principalmente porque los rendimientos de éstas, siempre se expresan en función de cada hora de trabajo.

También es aceptado, que el costo horario sea integrado mediante los costos siguientes:

1. Costos fijos
2. Costos por consumo

### 3. Costos de operación

#### Costos fijos

Se llaman así, porque afectan el costo horario del equipo independientemente de que éste se encuentre operando o inactivo. Los cargos que originan este costo son:

#### 1. Cargo por depreciación

Al usar constantemente la máquina, ésta sufre una disminución paulatina en cuanto al valor original con que fué adquirida. La forma común de evaluar este cargo es:

$$D = \frac{Va - Vr}{Ve}$$

Donde: D es la depreciación (en la forma lineal)

Va es el costo de adquisición del equipo, nuevo<sup>MM</sup>

Vr es el valor de rescate al fin de la vida económica

Ve es la vida económica en horas efectivas de trabajo

#### 2. Cargo por inversión

El dinero invertido en la adquisición de una máquina tiene una rentabilidad, es decir, genera intereses; por esta razón este cargo se toma como fijo y se puede evaluar como:

$$I = \frac{(Va + Vr)}{2 Ha} \times i$$

Donde: I es el cargo por inversión

Va es el valor inicial de la máquina, nueva<sup>MM</sup>

Vr es el valor de rescate

Ha es el número de horas efectivas de trabajo al año

i es la tasa de interés anual, en vigor

<sup>MM</sup> Según las reglas generales relativas a la Ley de Obras Públicas, sección 5, costos directos de maquinaria, reformadas en 1987, se especifican que se debe considerar al equipo como nuevo, al momen-



to del análisis, con el fin de retirar el cargo por ajuste y reposición, de los costos directos, anteriormente era común incluirlo, dentro de los costos fijos. Es común considerar esta Ley, como base del criterio a seguir, aún en las empresas privadas.

### 3. Cargo por seguros

Durante la vida económica de la máquina, y al estar operando, se tienen riesgos por los posibles accidentes que puedan ocurrir; el cargo por seguros se aplica tanto si se paga a una aseguradora, como si se absorbe por el propietario.

$$S = \frac{(V_a + V_r)}{2 H_a} \times s$$

Donde: S es el cargo por seguro

V<sub>a</sub> es el valor inicial

V<sub>r</sub> es el valor de rescate

H<sub>a</sub> es el número de horas efectivas al año

s es la prima anual promedio expresada en % del valor actual de la máquina  $[(V_a/V_r)/2]$  (varía entre 3 % y 6%)

### 4. Cargo por almacenaje

Cuando la maquinaria se encuentra inactiva, es necesario guardarla en bodegas y patios, pagando la vigilancia además de la renta y mantenimiento de éstas instalaciones; por lo que se genera el cargo por almacenaje:

$$A = KD$$

Donde: A es el cargo por almacenaje

K es un coeficiente que depende de las rentas de los locales, de las dimensiones de ellos, el salario de los vigilantes y el tiempo de resguardo, se calcula por experiencia y su valor está entre 0.05 y 0.10, aproximadamente.

D es la depreciación del equipo.

## 5. Cargo por mantenimiento

El uso continuo de la máquina, hace que ciertas partes se desgasten ó deterioren, por lo que se debe dejar de usar a efecto de cambiar ó reparar las piezas afectadas. El gasto producido por este mantenimiento, que puede ser mayor o menor, origina el cargo por mantenimiento:

$$M = QD$$

M es el cargo por mto. mayor o menor

Q es un coeficiente por mantenimiento, calculado en base a experiencias estadísticas

D es la depreciación de la máquina

## Costos por consumo

Cuando la máquina se encuentra operando, durante la ejecución de un trabajo, consume combustibles o energía para efectuarlo; además, existen otros elementos que tienen desgaste por dicha operación, para efectos del análisis se ha aceptado dividirlos en:

### 1. Cargos por combustibles u otras fuentes de energía.

Es el gasto por consumo de gasolina, diesel ó energía eléctrica, según el tipo de motor que posea la máquina; y se puede calcular de la siguiente forma:

Para motores de combustión interna a diesel ó gasolina:

$$E_c = e \times Hp \times F.O. \times P_c$$

Donde:  $E_c$  es el cargo por consumo de combustible

$e$  es la cantidad necesaria del combustible por hora de operación y se considera como:

0.1532 Lts/Hp/hra. para motores a diesel

0.2225 Lts/Hp/hra. para motores a gasolina

Estos son valores obtenidos estadísticamente y por experiencia (para condiciones medias de operación, al nivel del mar).

$Hp$  es el caballaje o potencia del motor

$FO$  es el factor de operación de la máquina

$P_c$  es el costo del combustible por litro

En la práctica, y para motores eléctricos, se ha aceptado evaluar el cargo por consumo de energía eléctrica como:

$$E_c = 0.853 \text{ H.P.} \times P_e$$

Donde:  $E_c$  es el cargo por energía eléctrica

$H_p$  es la potencia nominal del motor

$P_e$  es el precio del Kw-hora puesto en la máquina.

## 2. Cargos por lubricantes

Se origina por el gasto del consumo de grasa ó aceites que son necesarios para la correcta operación de la máquina, se puede evaluar por:

$$L = a \times P_l$$

Donde:  $L$  es el cargo por consumo de lubricantes

$a$  es la cantidad del lubricante necesaria de acuerdo a las condiciones medias de operación.

$P_l$  es el precio por litro de grasa o aceite.

Para motores con potencia menor a 100 H.P.

$$a = c/t + 0.0030 \times \text{H.P.} \times F.O.$$

Para motores con potencia mayor a 100 H.P.

$$a = c/t + 0.0035 \times \text{H.P.} \times F.O.$$

Donde:  $c$  es la capacidad del carter

$t$  es el período entre cambios de aceite en horas.

$HP$  es la potencia nominal del motor

$FO$  factor de operación de la máquina

Cuando no se conocen  $c$  ó  $t$ :

$$a = 0.0034 \times \text{H.P.} \text{ para H.P. menores a 100 aprox.}$$

$$a = 0.0023 \times \text{H.P.} \text{ para H.P. mayores a 100 aprox.}$$

## 3. Cargo por llantas

Las llantas son consideradas como elemento de consumo, ya que al llegar al término de su vida económica, deben ser renovadas o reemplazadas, si se quiere que el equipo trabaje eficientemente. El

cargo por llantas se evalúa de la siguiente manera:

$$Ll = \frac{Vil}{Hv}$$

Donde: Ll es el cargo por consumo de llantas  
 Vil es el costo de adquisición de las llantas  
 Hv son las horas de vida económica de las llantas de acuerdo a las condiciones del camino, posición de la máquina, cargas de operación y climas.

En el cuadro IV.II se consignan los valores, para condiciones de trabajo normales y adversas, de la vida económica de llantas en horas de trabajo, para el equipo que se menciona; estos valores son resultado de considerar los factores mencionados y se determinan en base a estudios estadísticos.

CUADRO IV.II

EQUIPO CONSIDERADO	VIDA ECONOMICA EN HORAS
CAMIONES DE CARRETERA	3405 *
	1940 **
CAMIONES PESADOS PARA TERRACERIAS	2900
ESCREPAS	1095
Y MOTOESCREPAS	2350
MOTOCONFORMADORAS	1050
	3060
	2270
PALAS CARGADORAS	3000
	2480
TRACTORES	2720
	1815
APISONADORAS	3400
	3060

Cuadro IV.II horas de vida económica normales (\*) y críticas (\*\*) para llantas de algunos equipos de construcción.

### Costos de Operación

Son los que se originan por el pago de los salarios a los

operadores, que se encargan del manejo del equipo; y es posible evaluarlos de la siguiente forma:

$$O = \frac{St}{Hefc} ; Hefc = H \times F.R.$$

- Donde: O es el cargo por operación del equipo  
 St es el salario por turno, del personal necesario, para operar la máquina  
 Hefc representa las horas efectivas de trabajo  
 FR es el factor de rendimiento de operación  
 H es la jornada normal de 8 horas

En la tabla 4.3, se presentan los factores de rendimiento del personal de operación, en función de las condiciones de obra y de la calidad de administración de la misma.

CONDICIONES DE LA OBRA	CALIDAD DE ADMINISTRACION			
	EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA
EXCELENTES	0.84	0.81	0.76	0.70
BUENAS	0.78	0.75	0.71	0.65
REGULARES	0.72	0.69	0.65	0.60
MALAS	0.69	0.61	0.57	0.52

TABLA 4.3 FACTORES DE RENDIMIENTO DEL PERSONAL QUE OPERA MAQUINARIA PARA CONSTRUCCION.

#### Valuación del costo por maquinaria

El costo por maquinaria está representado por el cociente del costo directo hora máquina entre el rendimiento por hora de dicha máquina:

$$CM = \frac{HMD}{RM}$$

- Donde: CM es el cargo por maquinaria (incluye la operación)  
 HMD es el costo directo de hora-máquina  
 RM es el rendimiento horario, expresado en la unidad de que se trate.

Como ejemplo, se presentan los análisis de costo horario para: planta dosificadora y mezcladora de concreto, camión de volteo, bomba para concreto y vibrador de gasolina.

**MAQUINARIA COSTO HORARIO DIRECTO DE: Planta deshidratadora**

Costo Horario número	: P001	Zona Salarial	: 1
Descripción del Equipo	: Cap. 80 m <sup>3</sup> /Hra	Fecha de Colización:	: ENE/1989
Precio de Adquisición	: \$ 150'884,000	Vida Económica	: 15,800
Precio Equipo Adicional:	: ---	Horas Anuales	: 2,000
Precio de Llantas	: ---	Valor de Rescate	: 10 M
Motor	: Eléc. 118 HP	Tasa de Int. Anual	: 07.5 M

**I. CARGOS FIJOS**

a) Depreciación	: $D = \frac{Va-Vr}{Ve}$	$= \frac{155'706,410}{15,800}$	$= \$ 9,875.58$
b) Inversión	: $I = \frac{Va+Vr}{2 Ha}$	$i = \frac{165'978,890}{4,000} \times 0.075$	$= 40,456.01$
c) Seguros	: $S = \frac{Va+Vr}{2 Ha}$	$s = \frac{165'978,890}{4,000} \times 0.03$	$= 1,244.80$
d) Almacenaje	: $A = KD$	$= 0.02 \times \$ 9,875.58$	$= 177.51$
e) Mantenimiento	: $M = QD$	$= 0.03 \times \$ 9,875.58$	$= 2,962.67$
SUMA CARGOS FIJOS POR HORA \$ 57,410.58			

**II. CONSUMOS**

a) Combustible	: $E_c = e \times HP \times F.O. \times F_c$		
Diesel	: $0.1582 \times HP \times \$ /Lt. = \$$		
Gasolina	: $0.2225 \times HP \times \$ /Lt. =$		
Energía Eléctrica:	$E_e = 0.058 \times HP \times F_e$		
	$0.058 \times 118 HP \times \$ 50.15 Kw-Hr =$		$3,864.25$
b) Lubrificantes:	$L = a \times Pl$		
Para HP < 100	$\Rightarrow a = C / l + 0.0030 \times HP \times F.O. \text{ en } Lt/Hr$		
Para HP > 100	$\Rightarrow a = C / l + 0.0035 \times HP \times F.O. \text{ en } Lt/Hr$		
	$\therefore L = Lt/Hr \times \$ /Lt \dots =$		
c) Llantas	: $Ll = Vll / Hv = \$$		
SUMA CONSUMOS POR HORA \$ 3,864.25			

**III. OPERACION**

Salarios	: Operador = \$ 31,050.00 /Jor		
	Ayudante = 16,187.75 /Jor		
	$S = \$ 47,247.75$		
	$H = S \text{ hrs} \times 0.81 \text{ (Fact. Rend.)} = 0.48 \text{ Hrs}$		
$\therefore$ OPERACION	$= S / H = \$ 47,247.75 / 0.48 \text{ Hrs} \dots =$		$7,291.25$
SUMA OPERACION POR HORA \$ 7,291.25			

**COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (CMD) \$ 68,566.08**

**MAQUINARIA COSTO HORARIO DIRECTO DE: Camión de Volteo -FAMSA-**

Costo Horario número : CVDZ Zona Salarial : 1  
 Descripción del Equipo : Cap. d. 0 m<sup>3</sup> Fecha de Cotización: ENE/1989  
 Precio de Adquisición : \$ 77'104,000 Vida Económica : 8,500  
 Precio Equipo Adicional: --- Horas Anuales : 1,700  
 Precio de Llantas : \$ 4'320,500 Valor de Rescate : 20 %  
 Motor : Diesel 122 HP Tasa de Int. Anual : 07.5 %

**I. CARGOS FIJOS**

a) Depreciación :  $D = \frac{V_a - V_r}{V_e} = \frac{61'755,020}{8500} = \$ 7,265.40$   
 b) Inversión :  $I = \frac{V_a - V_r}{I \text{ Ha}} = \frac{92'089,880}{8,400} \times 0.975 = 20,564.12$   
 c) Seguros :  $S = \frac{V_a - V_r}{I \text{ Ha}} = \frac{92'089,880}{8,400} \times 0.04 = 1,089.81$   
 d) Almacenaje :  $A = KD = 0.05 \times 7,265.40 = 369.27$   
 e) Mantenimiento:  $M = QD = 0.80 \times 7,265.40 = 5,812.32$   
 =====  
**SUMA CARGOS FIJOS POR HORA \$ 41,821.46**

**II. CONSUMOS**

a) Combustible :  $E_c = e \times HP \times F.O. \times P_c$   
 Diesel :  $0.1582 \times 122.00 \text{ HP} \times 0.50 \times \$ 445.00 / \text{Lt.} = \$ 4,158.01$   
 Gasolina:  $0.2225 \times \text{HP} \times \text{F.O.} \times P_c$   
 Energía Eléctrica:  $E_e = 0.058 \times HP \times P_e$   
 $0.058 \times \text{HP} \times \$ \text{KV-Hrs}$   
 b) Lubrificantes:  $L = a \times Pl$   
 Para HP < 100  $a = C / l = 0.0030 \times HP \times F.O. \text{ en Lt/Hr}$   
 Para HP > 100  $a = C / l = 0.0035 \times HP \times F.O. \text{ en Lt/Hr}$   
 $\therefore L = 0.2405 \text{ Lt/Hr} \times \$ 2,299 / \text{Lt} = 566.70$   
 c) Llantas :  $Ll = Vll / H_v = \$ 4'320,500 / 3,405 \text{ Hrs} = 1,268.57$   
 =====  
**SUMA CONSUMOS POR HORA \$ 3,973.88**

**III. OPERACION**

Salarios : Operador = \$ 20,107.90 /Jor  
 Ayudante = \$ 20,107.90 /Jor  
 $S = \$ 20,107.90$   
 $H = 8 \text{ hrs} \times 0.81 \text{ (Fact. Rend.)} = 6.48 \text{ Hrs}$   
 $\therefore \text{OPERACION} = S / H = \$ 20,107.90 / 6.48 \text{ Hrs} = 4,038.25$   
 =====  
**SUMA OPERACION POR HORA \$ 4,038.25**

**COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 51,833.59**

MAQUINARIA COSTO HORARIO DIRECTO DE: Bomba para concreto

Costo Horario número	: BC08	Zona Salarial	: 1
Descripción del Equipo	: Cap. h=100 m	Fecha de Cotización:	ENE/1989
Precio de Adquisición	: \$ 120,479,850	Vida Económica	: 9,800
Precio Equipo Adicional:	---	Horas Anuales	: 1,900
Precio de Llantas	: \$ 2,884,200	Valor de Rescate	: 15 %
Motor	: Diesel 80 HP	Tasa de Int. Anual	: 97.5 %

I. CARGOS FIJOS

a) Depreciación :  $D = \frac{Va-Vr}{Ve} = \frac{102,577,872.50}{9,800} = \$ 10,467.12$

b) Inversión :  $I = \frac{Va+Vr}{2 Ha} \cdot i = \frac{138,781,827.50}{3,920} \times 0.075 = 94,518.43$

c) Seguros :  $S = \frac{Va+Vr}{2 Ha} = \frac{138,781,827.50}{3,920} \times 0.03 = 1,062.10$

d) Almacenaje :  $A = KD = (0.03 \times 10,467.12) = 314.01$

e) Mantenimiento:  $M = QD = (0.08 \times 10,467.12) = 837.37$

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA \$ 46,975.67

II. CONSUMOS

a) Combustible :  $E_c = e \times HP \times F.O. \times Pc$   
 Diesel :  $0.1582 \times 80.00 \text{ HP} \times 0.90 \times \$ 445.00 / \text{Lt.} = \$ 5,276.60$   
 Gasolina:  $0.2225 \times \text{HP} \times \text{F.O.} \times Pc = \dots$

Energía Eléctrica:  $E_e = 0.053 \times HP \times Pe$   
 $0.053 \times \text{HP} \times \$ \text{Kv-Hr} = \dots$

b) Lubrificantes:  $L = a \times Pl$   
 Para HP < 100  $\Rightarrow a = C / t + 0.0030 \times HP \times F.O. \text{ en Lt/Hr}$   
 Para HP > 100  $\Rightarrow a = C / t + 0.0035 \times HP \times F.O. \text{ en Lt/Hr}$   
 $a = 0.0029 \therefore L = 0.1978 \text{ Lt/Hr} \times \$ 2,299.00 / \text{Lt} = 454.74$

c) Llantas :  $Lt = Vll / Hv = \$ 2,884,200 / 3,800 = 1,030.07$

SUMA CONSUMOS POR HORA \$ 6,761.47

III. OPERACION

Salarios : Operador = \$ 31,050.00 /Jor  
 Ayudante = ..... /Jor

S = \$ 31,050.00

H = 8 hrs x 0.85 (Fact. Rend.) = 6.80 Hrs

∴ OPERACION = S / H = \$ 31,050.00 / 6.80 Hrs..... = 4,567.58

SUMA OPERACION POR HORA \$ 4,567.58

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (CMD) \$ 58,004.72



MAQUINARIA COSTO HORARIO DIRECTO DE: Vibrador para Concreto

Costo Horario número	: VCO4	Zona Salarial	: 1
Descripción del Equipo	: ---	Fecha de Cotización:	ENE/1980
Precio de Adquisición	: \$ 2'747,330	Vida Económica	: 4,425
Precio Equipo Adicional:	---	Horas Anuales	: 1,475
Precio de Llantas	: ---	Valor de Rescate	: ---
Motor	: Gasolina 4 HP	Tasa de Int. Anual	: 07.5 %

I. CARGOS FIJOS

a) Depreciación :  $D = \frac{Va-Vr}{Ve} = \frac{2'747,330}{4,425} = \$ 620.87$

b) Inversión :  $I = \frac{Va+Vr}{I Ha} = \frac{2'747,330}{2,050} \times 0.075 = 908.02$

c) Seguros :  $S = \frac{Va+Vr}{I Ha} = \frac{2'747,330}{2,050} \times 0.03 = 27.04$

d) Almacenaje :  $A = KD = (0.03 \times 620.87) = 18.03$

e) Mantenimiento:  $M = QD = (1.00 \times 620.87) = 620.87$

\*\*\*\*\*  
SUMA CARGOS FIJOS POR HORA \$ 2,106.83

II. CONSUMOS

a) Combustible :  $E_c = e \times HP \times F.O. \times P_c$

Diesel :  $0.1592 \times HP \times \$ /Ll. = \$$

Gasolina:  $0.2225 \times 4.0 HP \times 0.75 \times \$ 498.00 /Ll. = 829.07$

Energía Eléctrica:  $E_e = 0.053 \times HP \times P_e$

$0.053 \times HP \times \$ KV-Hr =$

b) Lubrificantes:  $L = a \times Pl$

Para HP < 100  $\Rightarrow a = C / l + 0.0030 \times HP \times F.O. \text{ en } Ll/Hr$

Para HP > 100  $\Rightarrow a = C / l + 0.0035 \times HP \times F.O. \text{ en } Ll/Hr$

$\therefore L = 0.020 Ll/Hr \times \$ 1,700.00/Ll = 35.20$

c) Llantas :  $Ll = Vll / Hv = \$$

\*\*\*\*\*  
SUMA CONSUMOS POR HORA \$ 864.27

III. OPERACION

Salarios : Operador = \$ 25,592.37 /Jor

Ayudante = 16,187.75 /Jor

$S = \$ 41,780.12$

$H = a \text{ hrs} \times 0.0P \text{ (Fact. Rend.)} = 5.32 \text{ Hrs}$

$\therefore \text{OPERACION} = S / H = \$ 41,780.12 / 5.32 \text{ Hrs} = 7,508.80$

\*\*\*\*\*  
SUMA OPERACION POR HORA \$ 7,508.80

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (CMD) \$ 10,129.45

LISTA DE MAQUINARIA

MAQUINA	COSTO HORARIO
1. PLANTA DOSIFICADORA	\$ 68,366.08
2. CAMION DE VOLTEO	51,833.50
3. BOMBA PARA CONCRETO	58,004.72
4. VIBRADOR PARA CONCRETO	10,129.40
5. MOTOCONFORMADORA	75,752.26
6. VIBROCOMPACTADOR	51,796.82
7. RETROEXCAVADORA	77,643.70
8. GRUA TORRE	48,289.60
9. DOBLADORA Y CORTADORA	10,327.43
10. CAMION PIPA	56,841.68

COSTOS INDIRECTOS

Todo proceso de producción, ya sea de bienes ó de servicios, necesariamente requiere de técnicos, instalaciones e insumos para la correcta realización del mismo, tanto para dar calidad en el producto terminado como para absorber la responsabilidad y riesgo por mala realización; es de dominio general que deba existir personal altamente calificado, que se encargue de dirigir y administrar todos los recursos que se emplean para lograr tal producto.

En el campo de la construcción, los gastos generales que por su naturaleza intrínseca son aplicables a todos y cada uno de los conceptos de trabajo que forman parte de una determinada obra, son conocidos con el nombre de costos indirectos.

En la práctica se han dividido los gastos indirectos en cinco aspectos fundamentalmente y son:

- a) Gastos de administración central
- b) Gastos generales y de administración en obra
- c) Financiamiento
- d) Fianzas y seguros
- e) Imprevistos

## Gastos de Administración en Oficina Central

Los gastos más importantes que se tienen por administración central son: honorarios de directivos, personal técnico, administrativo y auxiliar; gastos de representación, consultorías e iguales en asuntos jurídicos y fiscales; depreciación, renta y mantenimiento de oficinas, talleres, bodegas, muebles y enseres; depreciación, renta y operación de vehículos; gastos de oficina como: papelería, medios de comunicación (teléfono, correo, etc.), luz, gas, etc.

La suma de estos gastos es variable y depende de el número de obras y monto de las mismas en las cuales participa la empresa. Es costumbre calcular el cargo por administración central como un porcentaje del costo directo de cada obra en particular; de manera estadística, este porcentaje está entre el 3% y 8%.

## Gastos Generales y de Administración en obra

Los conceptos que conforman estos cargos son: honorarios de personal técnico, administrativo y auxiliar en obra; instalaciones y obras provisionales, gastos de oficina y varios.

Nuevamente, el cargo por este concepto es muy variable y depende principalmente del tipo y volumen de la obra que se este ejecutando; la costumbre ha generalizado valuarlo entre un 5% y un 20% del costo directo de la obra.

## Financiamiento

Este elemento es considerado como el cargo por interés de las erogaciones que se hagan para iniciar la obra; es decir, se considera que en el inicio, la obra tiene un costo por los conceptos antes vistos incluyendo los costos directos, y que el dinero que se destina para cubrirlos, tiene una rentabilidad.

De esta manera, el monto del financiamiento depende de la

relación que existe entre el programa de erogaciones y el programa esperado de ingresos; dependiendo el primero del programa general de obra y el segundo de la forma de pago establecida en el contrato.

La forma de calcular el cargo por financiamiento, es haciendo las diferencias entre erogaciones e ingresos programados, según el avance de la obra, sumándolas y multiplicándolas por la tasa de interés vigente al momento de efectuar el análisis. El financiamiento puede representar desde el 0% hasta el 50% del costo directo.

### **Fianzas y Seguros**

Son los gastos que producen las fianzas, seguros, multas, recargos, regalías por uso de patentes, etc., y generalmente suele considerarse entre el 1% y el 4% del costo directo de la obra.

### **Imprevistos**

Dado que no es posible poder expresar todo bajo un número, o evaluarlo, sin incurrir en errores tanto de omisión como de estimación, amén de los riesgos naturales; se ha aceptado incluir dentro de los costos indirectos, un cargo ó porcentaje por gastos originados principalmente por: demora y suspensión del trabajo debido a problemas obrero-patronales, atrasos por material, obra de mano y equipo, escases de los mismos, modificaciones al proyecto, etc.

Este cargo depende del grado de incertidumbre que se tenga de todos y cada uno de los factores de costo de una obra; en la práctica se acostumbra evaluarlo entre un 2% y 5% del costo directo de la obra.

### **UTILIDAD**

Dado que el objetivo del capítulo, es considerar todos los elementos que determinan el costo de un concepto de trabajo y

mediante su integración, determinar el costo final de cada concepto de obra, es imprescindible considerar el concepto de utilidad dentro del mismo. La utilidad es la ganancia que recibe el empresario por el trabajo producido y los riesgos que se han afrontado al desarrollarlo.

Es de todos conocido que, al ofrecerse un servicio, no solo se invierte el trabajo físico e intelectual, por quienes trabajan con un fin productivo dentro de una organización, sino que, la capacidad y medios para ofrecerlo, requiere de la inversión de capital o la formación de él, a través de estos recursos; es por ello que, el sólo hecho de asumir los riesgos y administrar los insumos necesarios para obtener un producto, tenga un papel generador de capital. Por esta razón debe retribuirse, a la empresa contratista, cierta cantidad, que le ayude a permanecer continuamente en condiciones de seguir ofreciendo el servicio con garantía, y no sólo eso, sino que la deje en posibilidad de mejorarlo y ampliarlo.

La utilidad se expresa como un porcentaje de la suma del costo directo total y de los costos indirectos, la determinación de este porcentaje es libre por parte de la empresa, siempre y cuando cumpla con las obligaciones que tiene consigo y con la sociedad; enmarcadas indudablemente por la economía.

Aparte del grado de riesgo a que se sujete el contratista, existen otros factores a considerar en la determinación de la utilidad, como son: grado de dificultad técnica de la obra, localización, plazo en el que debe ejecutarse, magnitud, etc.

#### INTEGRACION DE LOS COSTOS

Para realizar un presupuesto es necesario hacer la integración de los elementos hasta aquí estudiados, dicha integración se resume en la determinación del precio de venta, mejor conocido como precio unitario, de cada uno de los conceptos de trabajo en los que sea dividida la obra.

**PRECIO UNITARIO:** Es la remuneración, o pago en moneda, que el contratante cubre al contratista por unidad de obra y por concepto de trabajo, que éste ejecute, de acuerdo a las especificaciones.

Por lo tanto:  $P.U. = C.D. + C.I. + UTILIDAD$

Donde: P.U. es el precio unitario base, para formar el presupuesto

C.D. es el costo directo que integra materiales, mano de obra y el equipo necesario para cada concepto de trabajo.

C.I. es el costo indirecto de los recursos necesarios para administrar y asegurar en conjunto la realización efectiva de los conceptos de trabajo.

UTILIDAD es la ganancia del contratista.

Para finalizar los ejemplos No. 1 a No. 6, determinaremos el precio unitario para cada uno de ellos.

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO No. 1-A'

ESPECIFICACION: Plantilla de 10 cm de espesor. UNIDAD: M2  
 tendido y acabado de concreto.

C O N C E P T O	UN.	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
<b>MATERIALES:</b>				
Concreto f'c=150kg/cm2	m3	0.1	\$ 54,437.52	\$ 5,443.75
<b>MAQUINARIA:</b>				
Planta dosificadora rendimiento: 30m3/hr	hr	0.0333	68,566.08	2,283.25
Camión de volteo rendimiento: 20m3/hr	hr	0.05	51,833.59	2,591.68
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Cuadrillas No.2 y No.10	m2	1.0	1,080.92	1,082.92
Herramienta	%	3.0	1,080.92	32.42
				=====
			COSTO DIRECTO	\$11,422.02
<b>INDIRECTOS:</b>				
Por admón. central	%	5.0		
Por admón. de obra	%	10.0		
Por financiamientos	%	10.0		
Por fianzas y seguros	%	4.0		
Por imprevistos	%	2.0		
SUMA	%	31.0	11,422.02	3,540.82
				=====
			SUMA	14,962.84
<b>UTILIDAD:</b>	%	10.0	14,962.84	1,496.28
				=====
			<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$16,459.12</b>

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO No. 2'

ESPECIFICACION: Concreto en cimentación colo - UNIDAD: M3  
 cación y acabado, incluye vi -  
 brado.

C O N C E P T O	UN.	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
<b>MATERIALES:</b>				
Concreto f'c=250kg/cm2	m3	1.0	\$ 72,226.92	\$72,226.92
<b>MAQUINARIA:</b>				
Planta dosificadora				
rendimiento: 30m3/hr	hr	0.0333	68,566.08	2,283.25
Camión de volteo				
rendimiento: 20m3/hr	hr	0.05	51,833.59	2,591.68
Bomba de concreto				
rendimiento: 30m3/hr	hr	0.0333	58,004.72	1,931.55
Vibrador				
rendimiento: 30m3/hr	hr	0.0333	10,129.46	337.31
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Cuadrillas No.23, No.10				
y No. 29	m3	1.0	10,486.39	10,486.39
Herramienta menor	%	3.0	10,486.39	314.59
				=====
			COSTO DIRECTO	\$90,171.69
<b>INDIRECTOS:</b>	%	31.0	00,171.69	27,953.22
				=====
			SUMA	118,124.91
<b>UTILIDAD:</b>	%	10.0	118,124.91	11,912.49
				=====
			<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$129,937.40</b>



**ANALISIS DE PRECIO UNITARIO No. 3'**

ESPECIFICACION: Concreto en muros y losas, co-locación, vibrado y resanes. UNIDAD: M3

C O N C E P T O	UN.	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
<b>MATERIALES:</b>				
Concreto f'c=350kg/cm2	m3	1.0	\$ 74,848.55	\$74,848.55
<b>MAQUINARIA:</b>				
Planta dosificadora				
rendimiento: 30m3/hr	hr	0.0333	68,566.08	2,283.25
Camión de volteo				
rendimiento: 20m3/hr	hr	0.05	51,833.59	2,591.68
Bomba de concreto				
rendimiento: 30m3/hr	hr	0.0333	58,004.72	1,931.55
Vibrador				
rendimiento: 30m3/hr	hr	0.0333	10,129.46	337.31
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Cuadrillas No.23, No.10				
y No. 29	m3	1.0	10,486.39	10,486.39
Herramienta menor	%	3.0	10,486.39	314.59
				*****
			<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>\$92,793.32</b>
<b>INDIRECTOS:</b>	%	31.0	92,793.32	28,765.92
				*****
			<b>SUMA</b>	<b>121,559.24</b>
<b>UTILIDAD:</b>	%	10.0	121,559.24	12,155.92
				*****
			<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$133,715.17</b>

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO No. 4'A

ESPECIFICACION: Acero de refuerzo en cimenta - UNIDAD: KG  
ción habilitado y colocación.

C O N C E P T O	UN.	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
<b>MATERIALES:</b>				
Varilla corrugada G-42	kg	1.0	\$ 1,080.05	\$ 1,080.05
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Cuadrillas No.12				
rendimiento: 140 kg/jor	kg	1.0	308.80	308.80
Herramienta menor	%	3.0	308.80	9.24
<b>MAQUINARIA:</b>				
Cortadora y dobladora				
rendimiento: 90kg/hr	hr	0.0111	16,327.45	181.23
				=====
			COSTO DIRECTO	\$ 1,579.33
<b>INDIRECTOS:</b>	%	31.0	1,579.33	489.59
				=====
			SUMA	2,068.92
<b>UTILIDAD:</b>	%	10.0	2,068.92	206.89
				=====
			<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$ 2,275.81</b>

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO No. 4'B

ESPECIFICACION: Acero de refuerzo en muros y losas habilitado y colocación. UNIDAD: KG

CONCEPTO	UN.	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
<b>MATERIALES:</b>				
Varilla corrugada G-42	kg	1.0	\$ 1,080.06	\$ 1,080.06
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Cuadrillas No.12	kg	1.0	270.31	270.31
Herramienta menor	%	3.0	270.31	8.10
rendimiento: 90kg/hr	hr	0.0111	16,327.45	181.23
				=====
			COSTO DIRECTO	\$ 1,358.47
<b>INDIRECTOS:</b>	%	31.0	1,358.47	421.12
				=====
			SUMA	1,779.59
<b>UTILIDAD:</b>	%	10.0	1,779.59	177.96
				=====
			<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$ 1,957.55</b>

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO No. 5'

ESPECIFICACION: Cimbra recta en muros o similar (no es cimbra trepante). UNIDAD: M2

CONCEPTO	UN.	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
<b>MATERIALES:</b>				
Cimbra	m2	1.0	\$ 4,926.00	\$ 4,926.00
Desencofrante (diesel)				
rendimiento 8 m2/lt	lt	0.125	445.00	55.62
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Cuadrilla No.11	m2	1.0	11,672.98	11,672.98
Herramienta menor	%	3.0	11,672.98	350.16
				=====
			COSTO DIRECTO	\$17,004.78
<b>INDIRECTOS:</b>	%	31.0	17,004.78	5,271.48
				=====
<b>UTILIDAD:</b>	%	10.0	22,276.26	2,227.62
				=====
			<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$ 24,503.88</b>

**ANALISIS DE PRECIO UNITARIO No. 5'**

ESPECIFICACION: Cimbra en losas intermedias UNIDAD: M2

CONCEPTO	UN.	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
<b>MATERIALES:</b>				
Cimbra (no incluye andamio metálico)	m2	1.0	\$ 6,534.91	\$ 6,534.91
Desenconfante (diesel)	lt	0.125	445.00	55.62
<b>MANO DE OBRA:</b>				
Cuadrilla No.11	m2	1.0	11,714.93	11,714.93
Herramienta menor	%	3.0	11,714.93	11,714.93
				=====
			<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>\$18,356.80</b>
<b>INDIRECTOS:</b>	%	31.0	18,356.90	5,690.63
				=====
			<b>SUMA</b>	<b>24,047.63</b>
<b>UTILIDAD:</b>	%	10.0	24,047.53	2,404.75
				=====
			<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$ 26,452.28</b>

**PRESUPUESTO**

El presupuesto es el balance final del análisis de costo de una obra y que además señala la factibilidad económica para realizarla ó que da pauta para elegir en todo caso, un procedimiento distinto del analizado; generalmente se representa por un resumen de conceptos de obra y su costo respectivo.

De hecho, el analista de precios unitarios encargado de realizar el presupuesto de la obra, debe conocer a fondo cada detalle de la misma, al presupuestar, imagina el desarrollo físico del proyecto según el procedimiento que se fije y por supuesto tiene conocimientos de costos y una amplia experiencia en la construcción del tipo de obra analizado.

Un presupuesto siempre es susceptible de cambios, aún aceptado

éste; si los costos de los insumos sufren variación respecto al análisis original, se hace necesario su ajuste y actualización.

El uso de programas de computadora, diseñados para el análisis de precios unitarios, resultan ser una herramienta de incalculable valor para presupuestar ó ajustar presupuestos anteriores; dando con esto, la posibilidad de estudiar alternativas distintas y obtener resultados más rápidos para la evaluación de procedimientos diferentes.

Aquí presentamos el presupuesto de los conceptos más representativos del silo; el análisis de costo por materiales para la cimbra trepante, no se realizó, debido a que el propietario no proporcionó su costo por considerarlo de carácter confidencial.

Partida (Conceptos)	Cantidad	P.U.	Importe
<b>I. Preliminares N+94.00</b>			
Excavación	16.496.50 m3	\$ 6,544.45	\$107'900,519.40
Relleno compactado	14.092.50 m3	16,648.43	237'436,499.80
<b>II. Cimentación N+103.00</b>			
Trazo y niveles	754.77 m2	709.16	535,252.70
Plantilla	783.86 m2	16,459.12	12'901,645.00
Cimbra	224.00 m2	24,503.88	5'488,869.10
Refuerzo	205,895.50 kg	2,278.81	468'579,037.90
Concreto	2.396.67 m3	129,937.40	311'417,068.50
Curado de concreto	978.00 m2	312.57	305,693.40
			=====
		Subtotal 1:	\$1,144'824,589.80
<b>III. Columna central de N +102.800 a N +112.300</b>			
Trazo y nivelación	158.50 m2	598.87	94,920.90
Cimbra circular	317.22 m2	16,743.81	5'311,471.40
Refuerzo	18,958.53 kg	1,957.55	37'112,270.40
Concreto	142.76 m3	133,715.17	19'089,177.60
Curado de concreto	1.127.10 kg	854.70	963,332.40
Elevación cim.y ref.	21.000.00 kg	13.96	293,160.00
			=====
		Subtotal 2:	\$ 82'864,332.70

Con el fin de abreviar y dado que en cada partida se evalúan prácticamente los mismos conceptos (aunque en cantidades distintas), en lo que sigue, sólo se dará el valor del costo total para cada partida; en donde exista un concepto importante, éste será mencionado.

Partida	Importe
IV. Silo de N +102.800 a N +112.300 Cimbra trepante	\$ 235'950,884.20
V. Losas intermedias de N +106.00 a N +109.300 Obra falsa para cimbra	15'196,728.70
VI. Plataforma N +114.900 Obra falsa	174'578,326.90
VII. Cono de descarga Cimbra conica Obra falsa Altura*	23'784,248.70
VIII. Silo de N +114.90 a N +182.20 Cimbra trepante (6 tramos de 11.20 m c/u) EL INCREMENTO POR ALTURA EN CADA TRAMO ES: DE N +114.90 A N +126.10 7 M DE \$ 44'711,805.28 MM DE N +126.10 - N +137.30 14 M DE " " DE N +137.30 - N +148.50 21 M DE " " DE N +148.50 - N +159.70 28 M DE " " DE N +159.70 - N +170.90 35 M DE " " DE N +170.90 - N +182.20 42 M DE ".....65'726,353.80	874'607,954.60
MM COSTO DE MANO DE OBRA EXCLUSIVAMENTE	
IX. Losa N +163.300 Placas precoladas sin colocación Firme sobre precolados Altura 35%	33'512,648.20
X. Columnas de N +163.00 a N+171.55 Altura 35%	21'593,990.70
Subtotal 3:	\$ 1,444'951,146.00
* SE CONSIDERA UN PORCENTAJE DEL COSTO POR MANO DE OBRA, DEL VOLUMEN DE OBRA CONSIDERADO.	

Partida	Importe
XI Losa N +172.45 (h=8.25 m al punto de apoyo) Cimbra huecos Altura 42%	\$ 132'257,478.10
XII Muros interiores de N +172.45 a N +182.10 Obra falsa Altura 42%	139'964,717.40
XIII Losas N +182.300 Losas precoladas (sin colocación) Firme sobre precolados	29'133,459.70
XIV Acarreo de materiales Acero de refuerzo y cimbra	29'827,860.00
	=====
Subtotal 4:	\$ 331'183,315.20
	=====
EL PRESENTE PRESUPUESTO IMPORTA LA CANTIDAD DE:	\$ 2,983'623,384.00

## CAPITULO CINCO

### PROGRAMA GENERAL DE OBRA

#### OBJETIVOS DE LA PROGRAMACION

Una vez que conocemos el procedimiento constructivo (capítulo 3) y que tenemos establecidas todas las actividades para llevar a cabo el proyecto, se necesita conocer las cantidades de los recursos necesarios para tal fin, así como el tiempo en el que será posible terminar el trabajo.

La etapa que cubre esta necesidad dentro del proceso constructivo, es la programación de la obra. La programación consiste básicamente en determinar, según la lógica del procedimiento empleado, la duración de todas y cada una de las actividades involucradas; y a la vez, establecer la interdependencia que exista entre ellas, para fijar el tiempo en que habrán de empezar o terminar, a fin de proseguir las demás actividades.

Programar una obra nos ayuda, entre otras cosas, a controlar el flujo de recursos (materiales, mano de obra, equipo, finanzas), conocer cuando será necesario disponer de ellos y las cantidades de los mismos según su requerimiento en obra; ayudándose con esto, a la optimización buscada durante la planeación.

Por lo tanto, si ya se cuenta con el programa base de las actividades por realizar, se pueden hacer programas para utilización de equipo, materiales, mano de obra y de financiamiento; tomándose como base el programa general de obra y adaptándose a éste.

#### Antecedentes de programación

Antiguamente y hasta los inicios del presente siglo, no existía la programación deducida de análisis objetivos de los procesos de construcción. Era, solamente, producto de la intuición del director de la obra; él determinaba, quizás, en función de los



elementos que inicialmente ponían a su disposición, el tiempo probable de ejecución; precisamente, éste era el recurso ilimitado que él poseía. Cuando se fijaba un plazo para terminar, el constructor aceleraba los trabajos aumentando recursos, si podía, conforme se acercaba el plazo.

Las dificultades de comunicación, hacían casi imposible la transmisión de las experiencias logradas en un sitio para aplicarlas en otro.

La programación empezó a desarrollarse como tal, o sea como un método que fije la forma de lograr algo, apenas en el primer cuarto del presente siglo XX. A fines de la Primera Guerra Mundial (1914-1919) Henry L. Gantt ideó una representación gráfica de las actividades industriales, derivada de la intención de expresar gráficamente los movimientos para realizar una actividad, que devino en las conocidas gráficas de barras, relación cartesiana de trabajos-tiempo, llamada en su honor Gráficas de Gantt.

Tales Gráficas fueron las primeras herramientas de la época moderna, para el control de la ejecución de una construcción. La característica que éstas gráficas tienen, es que son fáciles de comprender y tan aparatosas que cualquiera las interpreta y lucen bien. El problema de tales gráficas fué, que el encadenamiento de actividades era intuitivo. La fecha en que cada actividad del programa debía ser iniciada, la fijaba, por inspiración propia, el programador.

Un programa, establecido así, era tan bueno como la suerte del que lo hacía. Lo grave es que en la actualidad, algunas obras todavía se programan así. De hecho, pueden ser todavía usadas como herramienta de control, siempre que se asegure que no se inventan, sin bases objetivas, tales diagramas de barras; ya que, éstas carecen de valor real como elemento de control, cuando las fechas en que cada trabajo debe iniciarse o terminarse sean fijadas, sin razonamientos matemáticos apropiados, por la simple intuición del programador.

Con el advenimiento de las computadoras electrónicas, se obligó a formular las redes de actividades, planeación verdadera; apareciendo, que el eslabón perdido resultó ser la red de actividades, debiéndose reconocer que la actual explosión tecnológica, está basada en tan elemental artificio y en la impensable velocidad de resolución de las mismas (redes), por la computadora electrónica programable.

## PROGRAMACION POR EL METODO DE LA RUTA CRITICA

### Antecedentes históricos

Los primeros trabajos sobre el Método de la Ruta Critica ó C.P.M. ( Critical Path Metod ), fueron desarrollados por H.R. Walker, J.K. Kelly Jr. y R.L. Martino en los E. E. U. U. en el año de 1957; estaban encaminados a mejorar las técnicas de planeación y programación existentes.

El Dr. Martino refinó la técnica original, aplicándola a la reprogramación de obras.

Simultáneamente, la Marina de los Estados Unidos desarrollaba una técnica similar, para coordinar las actividades de las compañías que trabajaban en el proyecto Polaris; este método se conoce con el nombre de PERT (Program Evaluation Reporting Technique), Técnicas de evaluación programación y reporte.

En 1958, se aplica el método C.P.M. a la construcción de una planta química de la Dupont, obteniéndose magníficos resultados. En México, a partir de 1961, ha sido usado el C.P.M. por diversos organismos, como la Secretaría de Obras Públicas y la Comisión Federal de Electricidad.

### Método C.P.M. (Ruta Crítica)

Este sistema de programación y control, permite conocer las actividades que definen la duración de un proceso productivo.

Al utilizar el CPM se obtienen las ventajas siguientes:

- a. Permite conocer los órdenes de importancia de las actividades.
- b. Permite conocer cuáles son las actividades que controlan el tiempo de duración de un proceso (actividades críticas)
- c. Permite conocer los recursos requeridos para cualquier momento.
- d. Permite la programación lógica de los recursos necesarios.

#### METODOLOGIA PARA LA PROGRAMACION POR RUTA CRITICA

1. Formular la lista de actividades
2. Tabla de Secuencias
3. Construcción del diagrama de flechas (Red)
4. Valuación de tiempos y solución de la red (Ruta Crítica)
5. Cálculo de holuras
6. Diagrama de barras o de Gantt.

#### Lista de actividades

En esta lista se presenta el conjunto de actividades, ordenadas o no, en las que se divide la obra y que son necesarias para su construcción.

También debe determinarse, en este paso, el tiempo que tarda en ejecutarse cada actividad; basándose en experiencias anteriores, procedimientos de construcción, recursos disponibles, volúmenes de obra, calidad, rendimiento, lugar de ejecución de la obra, etc.

$$JN = \frac{C O}{R G}$$

J.N. = Jornadas necesarias  
C.O. = Cantidad de obra a ejecutar  
R.G. = Rendimiento por grupo de trabajo

$$DN = \frac{J N}{N G}$$

D.N. = Duración Normal  
N.G. = Número de grupos que pueden trabajar sin interferencia

### Tabla de secuencias

Esta tabla se forma, con el fin de analizar que actividades deben ser realizadas "inmediatamente antes", "simultáneamente" o "inmediatamente después" a la actividad que se pretende estudiar; esta tabla, ayuda al programador a visualizar situaciones de secuencia y presentación del diagrama de la red

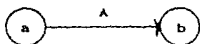
ACTIVIDAD	ANTERIOR	SIMULTANEA	POSTERIOR

### Construcción del diagrama de flechas

Con la ayuda de la tabla anterior, se determina una secuencia lógica de las actividades, se selecciona la actividad que da inicio al proceso constructivo y para cada etapa de la red, se consideran las actividades que simultáneamente pueden ejecutarse.

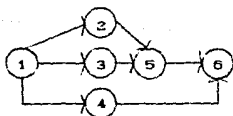
Los elementos gráficos requeridos para trazar el diagrama son:

- EVENTO:** representado generalmente por un círculo, que marca el inicio o terminación de una actividad, identifica a dicha actividad y no consume tiempo ni recursos.
- FLECHA:** es una flecha continua que representa la ACTIVIDAD y consume tiempo y recursos; como el diagrama no se traza a escala, la flecha no tiene relación con la duración de la actividad, sin embargo, siempre se señala su dirección dibujando la punta de la flecha.



La actividad anterior puede ser identificada como actividad A ó actividad ab, siendo esta última la más utilizada.

Al ligar varias actividades, se obtiene una red de actividades.



Red con 6 eventos ( 1,2,3,4,5,6 ) y 7 actividades ( 1-2,1-3,1-4,2-3,3-5,4-6,5-6 ).

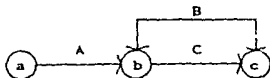
Al dibujar un diagrama de flechas, debemos preguntarnos para cada actividad en particular:

- ¿Qué actividad o actividades deben haberse ejecutado antes?
- ¿Cuál o cuales pueden ejecutarse inmediatamente después?
- ¿Cuál o cuales pueden ejecutarse simultáneamente?

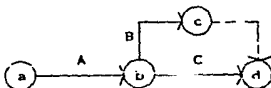
Así, de acuerdo al orden de ejecución se tendrá un diagrama de actividades, que son precedentes o subsecuentes de otras.

c. **ACTIVIDAD FICTICIA:** es el tercer elemento gráfico auxiliar para el trazo de las redes, se representa por una flecha discontinua y se denomina actividad ficticia ya que no consume tiempo ni recursos ( $d=0$ )

Considérese el siguiente diagrama:

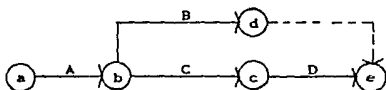


Al nombrar las actividades B y C por sus eventos, ambas serían designadas como bc; para evitar confusión se introduce una actividad ficticia quedando como sigue:

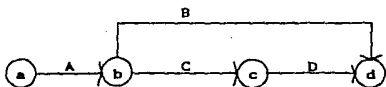


Ahora se identifican claramente ambas actividades, la B por sus eventos bc y la C por sus eventos bd; para ello se ha utilizado la actividad ficticia cd.

Hay que evitar en lo posible el uso de actividades ficticias donde no se justifiquen, por ejemplo:



La actividad ficticia 'de' no es necesaria, pues al suprimirla no hay ninguna duda respecto a la identificación de todas las actividades.



Se recomienda que la identificación de los eventos, se haga de tal manera que las actividades se lean en orden progresivo, por ejemplo, 3-4 ó af y no 4-3 ó fa.

El diagrama se inicia en un evento único y debe terminar en un solo evento también. Es regla fundamental que una actividad no puede iniciarse hasta que todas las actividades que llegan a su evento inicial, se hayan ejecutado.

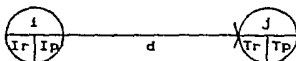
#### Valuación de tiempos y solución de la red.

Este paso permite conocer los tiempos de inicio y terminación de cada una de las actividades que integran el proceso, mediante la aplicación de un algoritmo sencillo, que a su vez, permite conocer la duración total del proceso.

En la aplicación del algoritmo, se usan las anotaciones siguientes:

$I_p$  = Tiempo de iniciación próximo de la actividad  $ij$   
 $I_r$  = Tiempo de iniciación remoto de la actividad  $ij$   
 $T_p$  = Tiempo de terminación próximo de la actividad  $ij$   
 $T_r$  = Tiempo de terminación remoto de la actividad  $ij$   
 $d$  = Tiempo que dura la ejecución de la actividad  $ij$

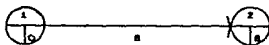
La anotación de estos datos en el diagrama de flechas, normalmente se hace como sigue:



Numerados los eventos y anotados los tiempos de duración de cada actividad en la red, se calculan los tiempos de terminación próximos: sumando al tiempo de iniciación, la duración de cada actividad, esto es:

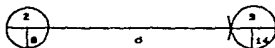
$$T_p = I_p + d$$

Supongamos que se tiene el siguiente diagrama, por partes:



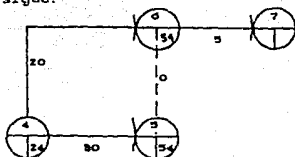
Para la primera actividad 1-2 el  $I_p$  es cero;  $I_p = 0$ . Como su duración es 8 el tiempo próximo de terminación será  $0 + 8 = 8$ .

El tiempo próximo de terminación de la actividad 1-2 es simultáneamente el tiempo próximo de iniciación de la actividad que le sigue (actividad 2-3). Suponiendo que la duración de la actividad 2-3 es de 6, entonces  $T_p = 8 + 6 = 14$ , anotamos:



Quando se llega a un evento donde concurren varias actividades

se procede como sigue:



Considerando la actividad 4-6, su  $I_p = 24$ , como su duración es igual a 20, su  $T_p = 24 + 20 = 44$ ; sin embargo, la actividad subsecuente 6-7, no puede iniciarse sino cuando se termine también la actividad 4-5 (o en este caso la ficticia 5-6) cuyo tiempo de terminación próximo es 54.

$$44 < 54$$

El número que se anotará en el evento 6 es 54, para considerarlo como el tiempo de iniciación próximo de la actividad 6-7.

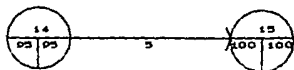
Cuando se estén calculando los tiempos próximos de terminación  $T_p$ , y se tenga el caso de que dos o más actividades concurren en un evento, se puede aplicar la regla siguiente: Anotar la cantidad mayor que resulte de sumar los tiempos de iniciación próximos  $I_p$ , a las duraciones respectivas de las actividades concurrentes.

Siguiendo este procedimiento, se calcula la terminación próxima del proyecto.

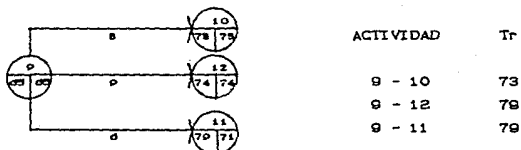
El siguiente paso consiste en determinar los tiempos de iniciación y terminación remotos; para ello, en el último evento del diagrama, se hacen coincidir  $T_p$  con  $T_r$ .

La última actividad, en este caso, 14-15 tiene  $T_p=100$  entonces su  $T_r$  será 100 y teniendo una duración de 5, su tiempo remoto de iniciación será  $100-5 = 95$ , es decir  $I_r = T_r - d$ ; el  $I_r$  así calculado es simultáneamente el  $T_r$  de la actividad precedente.





En el caso de dos o más actividades concurriendo a un evento, se tiene:



El tiempo remoto de iniciación de las actividades es:

ACTIVIDAD	$I_r = T_r - d$	$I_r$
9-10	$73 - 8$	65
9-12	$78 - 9$	70
9-11	$79 - 8$	73

En esta situación, para efectos del cálculo de la red, se anotará el menor de los tres números calculados (el 65), aunque evidentemente los tiempos remotos de inicio reales son 65, 70 y 73 respectivamente; ya que si anotamos 70 ó 73 los tiempos remotos de terminación de las actividades 9-11 y 9-12 serían en un caso 78 y 79 ( $70 + 8$  y  $70 + 9$ ) y en otro 79 y 82 ( $73 + 8$  y  $73 + 9$ ) lo cual no es correcto porque nos llevaría a un tiempo de terminación mayor, de todo el proyecto; es decir, superior a los 100 días supuestos en el final de la actividad 14-15.

En este caso y cuando se calculen los tiempos remotos de inicio, se aplica la regla siguiente: si dos o más actividades concurren a un mismo evento, el  $I_r$  que se anotará, será la cantidad menor que resulte de restar a los tiempos de terminación remota de cada actividad, la duración correspondiente.

Solución de la red (Determinación de la ruta crítica)

Durante el cálculo de los tiempos de iniciación y terminación

próximos y remotos, se observa que hay actividades que pueden empezar en dos tiempos diferentes, sin que ello altere la terminación del proyecto y actividades cuyos tiempos de inicio y de terminación está fijo. Estas últimas actividades reciben el nombre de críticas, pues un atraso o un adelanto en su ejecución significan un atraso o un adelanto en toda la obra.

La unión de estas actividades es la llamada RUTA CRITICA.

Las condiciones que definen el que una actividad sea crítica son dos:

1. Los tiempos de iniciación y terminación de la actividad son respectivamente iguales  $I_p = I_r$  en el evento inicial, y  $T_p = T_r$  en el evento final.
2. La holgura total de la actividad, que adelante se enuncia, es igual a cero  $H_r = 0$ .

En ocasiones la primera condición basta, pero cuando esto no sea suficiente, deberá aplicarse la segunda condición.

Conocer cuáles son las actividades críticas, permite poner especial cuidado en ejecutarlas dentro del tiempo establecido.

#### Cálculo de holguras

Holgura es el margen de tiempo que una actividad tiene para iniciarse y terminarse.

Se define la holgura total de una actividad, como el tiempo que puede desplazarse la ejecución de ésta, sin alterar la duración total de la obra. Por lo tanto la ruta crítica también es la secuencia de actividades cuya  $H_r$  es igual a cero.

Holgura total = Terminación remota menos terminación próxima

$$H_r = T_r - T_p$$

$$Y \text{ como } T_r = I_r + d \quad \text{y} \quad T_p = I_p + d$$

$$\text{Se tiene } H_r = I_r + d - (I_p + d) = I_r + d - I_p - d$$

Por lo que la holgura total también es la iniciación

remota menos la iniciación próxima.

$$Ht = Ir - Ip$$

La holgura libre es el tiempo que puede desplazarse una actividad, sin alterar la iniciación de la actividad o actividades que en cadena le siguen:

Holgura libre = Tiempo de inicio próximo de la actividad subsecuente menos el tiempo de terminación próximo de la actividad en estudio.

$$Hl = Ipj - Tpi$$

Dado que  $Tpi = Ipi + di$ , también puede escribirse

$$Hl = Ipj - Ipi - di$$

Recordando que, en el diagrama, el  $Ipj$  corresponde al  $Tp$  mayor de las actividades que concurren en el evento, la holgura libre se puede calcular directamente de la red, para cada actividad, simplemente como  $Hl = Tp - Ip - d$ , lo que evita "buscar" en la tabla de actividades las que se relacionan entre sí y aplicar

$$Hl = Ipj - Ipi - di$$

La holgura libre, permite llevar a cabo una mejor distribución de los recursos.

#### Diagrama de barras

Una vez formulada la tabla de holguras, se procede a representar gráficamente la ruta crítica, por medio de un diagrama de barras ó de Gantt, que representa en un escala de tiempo, la duración de todas y cada una de las actividades en que se haya desglosado la obra en estudio.

Se debe tener presente, que la duración de las actividades es función directa del volumen de obra por ejecutar y del rendimiento que sean capaces de tener quienes realizan el concepto que se analiza; obviamente, podrán tenerse duraciones diversas para una misma actividad, al variar los recursos que se le asignan, modificándose también, consecuentemente, el costo respectivo.

## Aplicación del C.P.M. al programa de obra del silo

En la tabla S.1 se presenta la lista de actividades de la mencionada obra, subdividida por conceptos; determinándose la duración de cada uno de ellos para así, poder a su vez, obtener la duración de las actividades que inicialmente se consideraron en el procedimiento constructivo; esto con el fin de abreviar el programa, ya que, de otra manera, resultaría muy extenso al considerar duraciones por concepto. Sin embargo, es necesario hacer esta subdivisión para conocer la duración de cada actividad, de manera tal que se apegue, lo más posible, a la realidad.

Para calcular la duración de cada actividad, en las que se ha dividido el proyecto, se procede de manera lógica como a continuación se enuncia.

Por ejemplo, para iniciar el relleno se tiene que terminar totalmente la excavación, es decir, realizaria al 100% por lo que, el tiempo a considerar es el anotado para esa actividad (20 días, Tabla S.1).

Para iniciar la cimentación, no se necesita tener terminado el relleno, sino hasta el N +20.300 que es el 80% aprox. del volumen total, por lo que  $90 \text{ días} \times 0.80 = 72$  que se ajusta a 60 días. En el caso de la cimentación, el concepto más representativo es el acero de refuerzo, pero como es un concepto que se puede dividir en dos más: habilitado (50%) y colocación y armado (50%), tenemos que, la habilitación se puede iniciar, inclusive, antes de terminar el relleno por lo que la actividad que consumirá tiempo, una vez terminado éste será el 50% restante, es decir, la colocación y el armado, que es:  $58.5 \times 0.50 = 29.25$  jornadas; ahora bien, no necesitamos tener colocado y armado el total del acero de refuerzo, según el planteamiento del colado en cimentación, por lo que la cimbra se puede empezar a colocar si consideramos que el acero de refuerzo en lo que respecta a colocación y armado lleve un avance del 80%, según el área de trabajo que pretendamos preparar  $29.25 \times 0.80 = 23.40$  días. La cimbra tiene un tratamiento similar, es así como damos un 50% para la colocación, por lo que del total tendremos 8 días  $\times 0.50 = 4$  días de tiempo real por consumir; esto es, para ejecutar cada una de las

subactividades, es necesario tener un avance relativo en las anteriores. En el caso del concreto, sólo se considera el tiempo que toma el último colado; esto se debe a que, dada la forma en que se planteó colar la cimentación, la actividad de colado puede ser realizada, como se vió para las anteriores, simultánea a éstas y por lo tanto, tenemos que, el tiempo necesario para construir la cimentación se puede estimar como:

Plantilla	duración	1.5 días
Trazo y niveles	"	2.0 días
Refuerzo	"	23.4 días
Cimbra	"	4.0 días
Concreto	"	1.0 días
		*****
	SUMA	32.9 días

Por lo que el tiempo a considerar, en la ejecución de la cimentación, se toma como 33 jornadas:

En la explicación anterior, debemos apreciar que, la interrelación que tienen las actividades y subactividades durante su ejecución, se debe a que algunas de ellas pueden ejecutarse con anticipación o simultáneamente a la actividad principal (predominante).

La duración de las demás actividades, fueron calculadas aplicándose el criterio aquí expuesto; la anotación de las duraciones, se presenta en el diagrama de flechas tal y como se indica en los pasos del método C.P.M., antes descrito.

TABLA 5.1 LISTA DE ACTIVIDADES POR CONCEPTO Y DURACION

ACTIVIDAD	CANT	REND.	JOR	NO.	DUR.
		FOR GPO/JOR	NEG.	GPOS.	(JOR)
<b>EXCAVACION MECANICA</b>					
Extracción y acarreo de material	16,496.00 MB	410 MB/JOR	40.20	2 EQUIPO	20
<b>RELLENO COMPACTADO</b>					
Acarreo tendido y compact. de material	14,092.00 MB	156 MB/JOR	90.33	1 EQUIPO	90

ACTIVIDAD	CANT	REND.	JOR	NO.	DUR.
			FOR OPO/JOR	NEC.	
<b>CIMENTACION</b>					
Trazo y niveles	755.00 M2	200 M2/JOR	4.00	2	2.0
Plantilla	784.00 M2	50 M2/JOR	15.00	10	1.5
Refuerzo	205,895.00 K0	140 K0/JOR	1470	25	58.5
Cimbra	536.00 M2	8 M2/JOR	67	6	8.0
Concreto	2,896.00 M3	350 M3/JOR	6.8	1	7.0
<b>COLUMNA CENTRAL A N +112.800</b>					
Refuerzo	18,950.00 K0	160 K0/JOR	118	5	24.0
Cimbra trepante	317.00 M2	5 M2/JOR	64	4	16.0
Concreto	143.00 M3	48 M3/COL		1 EQUIPO	3.0
<b>MURO SILO A N+112.800</b>					
Refuerzo	73,397.00 K0	160 K0/JOR	459	15	31.0
Cimbra trepante	1,178.00 M2	5 M2/JOR	236	10	24.0
Concreto	1,553.00 M3	185 M3/COL		1 EQUIP.	8.0
<b>LOSAS INTERMEDIAS N +109.800</b>					
Obra falsa	800.00 M3	50 M3/JOR	16	2	8.0
Cimbra	126.00 M2	6 M2/JOR	21	3	7.0
Refuerzo	2,591.00 K0	160 K0/JOR	16	3	6.0
Concreto	82.22 M3	COLADO UNICO		1 EQUIP.	1
<b>PLATAFORMA N +114.000</b>					
Obra falsa	2,205.00 M3	80 M3/JOR	28	4	7.0
Cimbra	246.00 M2	3 M2/JOR	82	8	10.0
Cimbra circular	201.00 M2	5 M2/JOR	40	6	7.0
Refuerzo	34,211.00 K0	160 K0/JOR	214	15	14.0
Concreto	695.69 M3	360 M3/JOR	1.9	1 EQUIP.	2.0
<b>CONO DE DESCARGA</b>					
Obra falsa	280.00 M3	50 M3/JOR	4.78	2	2.5
Cimbra	220.63 M2	2 M2/JOR	110	4	27.5
Refuerzo	4,548.00 K0	160 K0/JOR	28	5	6.0
Concreto	25.60 M3	5.12 M3/COL		1 EQUIP	4.0
<b>MURO SILO A N +182.200</b>					
Refuerzo	238,651.20 K0	160 K0/JOR	1492	15	100.0
Cimbra trepante	8,750.00 M2	7 M2/JOR	1251	12	104.0
Concreto	1,939.20 M3	114 M3/COL		1	17.0
<b>FRESFUERZO MURO SILO A N +103.300</b>					
Colocación de ductos	254.00 PZA.	2 PZA/JOR	127	4	32.0
Insertado de cables	254.00 PZA	4 PZA/JOR	64	2	32.0
Tensado e inyección de					
Lechada	254.00 PZA	4 PZA/JOR	64	2	32.0
<b>PRECOLADOS N +103.800</b>					
Cimbra	65.00 M2	4 M2/JOR	16	8	5.0
Refuerzo	11,028.00 K0	160 K0/JOR	69	7	10.0
Concreto	28.00 M3	10 M3/COL			3.0
<b>FIRME SOBRE PRECOLADOS</b>					
Cimbra	5.00 M2	3 M2/JOR	2	2	1.0
Concreto	49.00 M3	1 COLADO		1	1.0
<b>COLUMNAS A N +171.55 (N=8.25)</b>					
Refuerzo	5,259.00 K0	160 K0/JOR	33	6	6.0
Cimbra	138.00 M2	3 M2/JOR	46	6	8.0
Concreto	40.00 M3	13.00 M3/JOR		1	3.0

ACTIVIDAD	CANT	REND.		JOR	NO.	DUR.
		FOR	GPO/JOR			
<b>LOSA N +172.45</b>						
Obra falsa	2,500.00 M3	80.00 M3/JOR	32	6		6.0
Cimbra	314.00 M2	3.00 M2/JOR	105	6		18.0
Cimbra en huecos	102.00 M2	6.00 M2/JOR	17	6		9.0
Refuerzo	57,187.00 KG	100.00 KG/JOR	292	15		16.0
Concreto	220.00 M3	240.00 M3/JOR	0.91	1		1.0
<b>MUROS INTERIORES A N +182.10</b>						
Refuerzo	25,476.00 KG	160.00 KG/JOR	160	10		16.0
Obra falsa	2,826.00 M3	60.00 M3/JOR	47	6		8.0
Cimbra	1,158.00 M2	6.00 M2/JOR	193	6		32.0
Concreto	255.00 M3	28.33 M3/COL	9	1	EQUIP	9.0
<b>PRECOLADOS N +182.300</b>						
Cimbra	56.00 M2	4.00 M2/JOR	14	3		5.0
Refuerzo	9,328.00 KG	160.00 KG/JOR	58	3		12.0
Concreto	29.00 M3	10.00 M3/COLADO	3			3.0
<b>FIRME SOBRE PRECOLADOS</b>						
Cimbra	4.00 M2	2.00 M2/JOR	2	2		1.0
Concreto	41.90 M3					1.0

A continuación se presentan los resultados de la aplicación del método C.P.M. a la programación de obra del silo.

#### LISTA DE ACTIVIDADES:

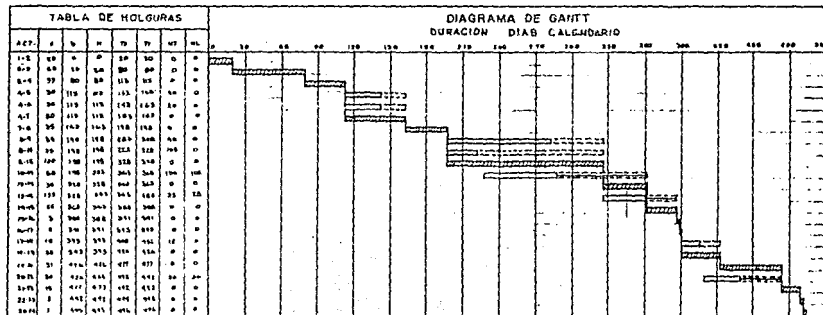
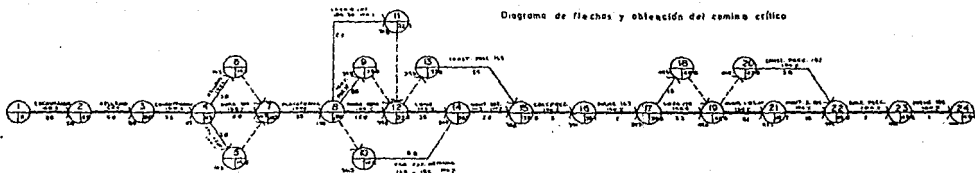
1. Excavación 100%
2. Relleno compactado 60%
3. Cimentación 100%
4. Muro silo e=900 mm 100%
5. Columna central 100%
6. Relleno 100%
7. Plataforma N +114.900
8. Losas interiores N +109.300
9. Muro silo e=450 mm 100%
10. Prefuerzo 100%
11. Cono de descarga 100%
12. Fabricación de estructura metálica N +163 y N +182 100%
13. Construcción de precolados N +163.000 100%
14. Montaje de estructura N +163.300 100%
15. Colación de precolados 100%
16. Firme losa N +163.300 100%
17. Columnas a N +171.65 100%
18. Losa N +172.45 100%
19. Precolados N +182.300 100%
20. Muros a N +182.300 100%
21. Montaje de estructura N +182.200 100%
22. Colocación de precolados N +182.100 100%
23. Firme en losa N +182.300 100%

TABLA DE SECUENCIAS

ACTIVIDAD No.	ACTIVIDAD PRECEDENTE	ACTIVIDAD SIMULTANEA	ACTIVIDAD SUBSECUENTE
1	Ninguna	Ninguna	Relleno 60%
2	Excavación 100%	Ninguna	Cimentación 100%
3	Relleno 60%	Ninguna	Muro e=900
4	Cimentación	Col. centro	Plataforma 114
5	Cimentación	Relleno 100%	Plataforma 114
6	Cimentación	Muro e=900	Ninguna
7	Col. Cen. y muro 900	Ninguna	Muro e=450
8	Plataforma 114	Muro e=450 100%	Ninguna
9	Plataforma 114	Presfuerzo	Cono descarga
10	Plataforma 114	Muro e=450	Ninguna
11	Muro e=450	Precolados 163	Montaje est. 163
12	Ninguna	Precolados 163	Montaje est. 163
13	Ninguna	Cono descarga	Coloc. precolad.
14	Fab. Est. Met. 163	Precolados 163	Coloc. precolad.
15	Prec. 163 y Montaje	Ninguna	Firme losa 163
16	Coloc. prec. 163	Ninguna	Cols. a 171
17	Firme losa 163	Losa 172	Muros a 182
18	Firme losa 163	Cols. a 171	Muros a 182
19	Ninguna	Muros a 182	Ninguna
20	Losa 172	Prec. a 182	Montaje est. met.
21	Muros a 182	Prec. a 182	Coloc. prec. 182
22	Montaje est. 182	Ninguna	Firme
23	Coloc. prec. 182	Ninguna	Ninguna



Diagrama de flechas y obtención del camino crítico



ACTIVIDAD CRITICA  
 ACTIVIDAD NO CRITICA  
 HOLGURA TOTAL  
 HOLGURA LIBRE

## CAPITULO SEIS

### CONTROL DE CALIDAD

#### ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN LA OBRA

Para garantizar la calidad adecuada, es indispensable contar con los siguientes tres elementos básicos, funcionando en la obra: especificaciones, supervisión y laboratorio de pruebas. Cada uno de estos tres elementos debe cumplir requisitos mínimos y deben interactuar en forma eficiente para asegurar la correcta ejecución de la obra; de tal manera, que ésta resulte económica y con un alto grado de confiabilidad al ser puesta en servicio.

#### ESPECIFICACIONES

Se entiende por especificaciones el conjunto de disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones que el propietario o el proyectista, estipulan para la ejecución de las obras; estas especificaciones, tienen la misma fuerza legal del contrato ya que forman parte de él.

No es posible la ejecución de una obra, por pequeña o grande que sea, sin contar con las especificaciones necesarias que fijen los requisitos constructivos y de calidad que deben cumplirse. Estos requisitos son producto de los estudios preliminares, del proyecto (Diseño) y de la experiencia general, que señalan los límites y pautas que se deben considerar. Las especificaciones particulares de una obra, deben ser incluidas en el proceso de contratación, por lo cual, tienen que ser tan completas como sea necesario para eliminar toda posible duda sobre las conceptos que deban ejecutarse.

En México la Dirección General de Normas (DGN) ha elaborado lo que constituyen las Normas Oficiales Mexicanas, donde se especifican los métodos de prueba y límites que deben

emplearse para el control de calidad de los materiales de construcción y, en general, para toda la industria nacional.

#### SUPERVISION

Supervisión es la acción de inspeccionar y revisar que los procesos constructivos sean ejecutados correctamente, basándose en las especificaciones de proyecto; esta actividad es efectuada por un técnico o cuerpo de técnicos, con la finalidad de vigilar los intereses del dueño. Cabe mencionar que la supervisión, al ser contratada por el dueño, tiene la autoridad suficiente para tomar decisiones o imponer sanciones al constructor, si es necesario, cuando éste no cumpla con las especificaciones estipuladas para el proyecto.

#### LABORATORIO DE PRUEBAS

La verificación de la calidad, implica la ejecución de pruebas y los trabajos necesarios para comprobar que un proceso ó producto, cumple con las especificaciones acordadas entre contratante y contratista. Por consiguiente, también se requiere la seguridad de que las pruebas de control y verificación, se ejecuten con la intensidad adecuada y con las técnicas correctas; esto implica, que el laboratorio debe cumplir con requisitos mínimos que garanticen su efectividad. Un laboratorio deberá contar con:

- Un técnico responsable
- Personal técnico auxiliar capacitado
- Equipo adecuado y suficiente
- Suficientes conocimientos sobre especificaciones y procedimientos de pruebas.
- La capacidad y la disponibilidad necesaria para desarrollar los trabajos encomendados.
- Debe tener en alta estima la honestidad.

De lo anterior, se puede deducir que para contratar o instalar un laboratorio, se debe considerar y analizar la capacidad técnica que debe o deberá tener, para poder confiarle las

actividades tan importantes del control y la verificación.

#### Responsables en el control de calidad.

Para entender como se crean las políticas<sup>p</sup> del control de calidad, quienes son los responsables del control y el papel que juega el ingeniero civil dentro de este sistema y en general dentro de la industria de la construcción, se describen los elementos que participan para desarrollar la ejecución de una obra:

**DUEÑO O PROPIETARIO:** Es la persona ó institución que tiene la necesidad de construir y que paga ó financia la obra.

**DIRECCION:** La persona u organización que es contratada por el dueño, para dirigir técnica ó administrativamente la obra.

**PROYECTISTA O CALCULISTA:** La persona ó compañía a quien se le encomienda el desarrollo del diseño técnico para el proyecto, es contratada por la dirección.

**ESTUDIOS ESPECIALES:** Las personas ó compañías a quienes se les encomiendan los estudios que se requieran para solucionar problemas técnicos de la obra. Pueden ser contratados por la dirección ó por el proyectista.

**SUPERVISION:** La persona u organización contratada por la dirección, para vigilar los procesos constructivos (en la obra está representada por un técnico al que se le nombra residente, mismo que como su nombre lo indica, debe residir en la obra y estar constantemente pendiente de los problemas que puedan surgir con motivo de la construcción; además, está encargado de proporcionar toda la información que requiera la

<sup>p</sup> Son las disposiciones hechas por el propietario, para delegar autoridad y para establecer el orden jerárquico en que se cubren todas las actividades, por quienes participan en la ejecución de la obra.

contratista para el desarrollo de la obra).

**LABORATORIOS:** Son las organizaciones que proporcionan servicios técnicos de muestreo y ensaye de materiales de construcción, contratados por la dirección. Existen algunas obras que, dada su importancia, cuentan hasta con dos laboratorios, uno de ellos a cargo de la contratista.

**CONSTRUCTORA O CONTRATISTA:** Es la compañía contratada por el dueño o sus representantes para ejecutar la obra, está representada por el superintendente, técnico que tiene a su cargo la dirección superior en obra y toda la responsabilidad de observar que ésta se ejecute de acuerdo a lo especificado en el proyecto.

**PROVEEDOR:** Las organizaciones que surten materiales ó servicios al constructor.

Generalmente el orden jerárquico, aquí presentado, es el que se sigue en la práctica; sin embargo, si en la obra no existen especificaciones o supervisión, toda la responsabilidad y la manera de hacer la obra se le deja al constructor.

**PRINCIPALES MATERIALES DE CONSTRUCCION PARA EL SILO, EN LOS QUE SE PUSO ESPECIAL CUIDADO DE SU CALIDAD.**

**Control de calidad en el material para relleno en cimentación**

Para entender el procedimiento que se sigue en la determinación de la calidad del material y la forma de controlar la calidad especificada, durante la construcción; comenzaremos por definir los términos siguientes:

**MATERIALES PARA TERRACERIAS:**

Son los que provienen de la corteza terrestre, ya sea que se extraigan de bancos ó préstamos (cortes, en la construcción de vías de comunicación) y que se utilicen en la construcción de

terraplenes ó rellenos, mismos que pueden emplearse solos, mezclados ó estabilizados con otros materiales naturales (puzolanas) ó elaborados (cemento, cal, cenizas), en tal forma que reúnan características adecuadas para su uso.

#### COMPACTACION:

Es el aumento artificial, por medios mecánicos, del peso volumétrico de un suelo, a costa de la reducción de los vacíos del mismo, al conseguir un mejor acomodo de las partículas que lo forman, mediante la expulsión del aire y/o agua del material.

La compactación, mejora las características de un suelo en lo que se refiere a resistencia mecánica, resistencia a los asentamientos bajo cargas futuras e impermeabilidad, en tal manera, para que sea capaz de soportar su propio peso y el de las cargas superimpuestas.

#### Métodos de prueba en compactación

Durante la construcción de terraplenes ó rellenos, sería ideal poder medir la resistencia del suelo en cualquier momento, para determinar cuando se ha alcanzado la resistencia necesaria; pero el equipo para medir ésta resistencia es difícil de manejar, es caro y no es aplicable a todos los suelos; por lo que, para sustituir esta deficiencia se han preparado las pruebas siguientes:

Proctor estándar  
Proctor modificada  
Porter

El equipo para realizar estas pruebas de compactación a los materiales en obra, es un equipo económico y sencillo. R.R. Proctor, estableció que hay una correspondencia entre el peso volumétrico seco del suelo compactado y su resistencia; él mismo, desarrolló una prueba que consiste en:

## PRUEBA PROCTOR ESTÁNDAR

- a) se toma una muestra representativa del suelo a compactar, de humedad conocida ó incorporándose ésta, haciéndose necesario en este caso, registrar la cantidad en peso del agua adicionada para lograr tal humedad.
- b) Se utiliza un cilindro de 4" de diámetro x 4 1/2" de altura, se llena en tres capas aproximadamente iguales con el material de prueba.
- c) Cada capa se compacta con 25 golpes, repartidos en toda el área, de un martillo de 2.5 kg. y área de contacto de 20 cm<sup>2</sup>, mismo que se deja caer de 30.5 cm de altura, figura 6.1; todo esto con el objeto de dar en cada golpe, al material, la misma energía de compactación.

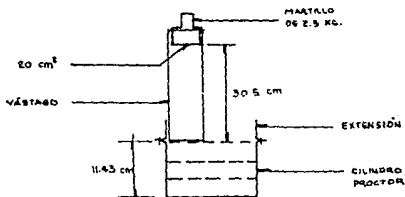
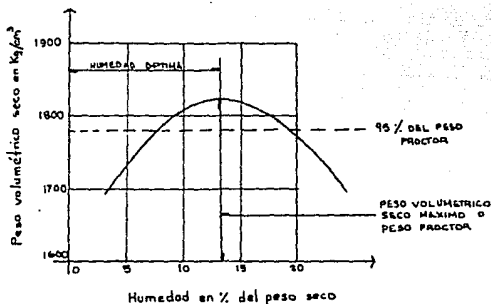


Fig.6.1 Especificaciones para la prueba Proctor estándar

- d) Se pesa el material y como el volumen es conocido, se calcula el peso volumétrico húmedo, dividiendo el peso del material entre el volumen. Como la humedad es conocida, se resta el peso del agua y se obtiene el peso volumétrico seco para esa humedad.
- e) Se repite la prueba varias veces, adicionándose cada vez una cierta cantidad de agua, variando con ello, cada vez, el grado de humedad, por lo que se obtienen pares de valores humedad - peso volumétrico seco.

Con estos pares de valores se dibuja la gráfica siguiente:



Puede observarse que hay un contenido de humedad para el cual el peso volumétrico es máximo, éste peso se conoce como: "peso volumétrico seco máximo" (P.V.S.M.), o peso proctor, y el contenido de humedad como humedad óptima.

El proyectista entonces, especifica el porcentaje del peso proctor que debe obtenerse en la construcción del relleno y la humedad óptima.

Por ejemplo: si el que diseña especifica el 95% Proctor, en el caso de la gráfica, tenemos  $P.V.S.M. = 1820 \text{ kg/cm}^3$ .

Por lo tanto:  $95\% \text{ Proctor} = 0.95 \times 1820 = 1729 \text{ kg/cm}^3$  es decir, el constructor debe obtener un peso volumétrico seco mínimo de  $1729 \text{ kg/cm}^3$  en ese material.

### PROCTOR MODIFICADA

Esta prueba se utiliza cuando se tiene la necesidad de desarrollar mayores densidades y resistencias en el material, usando mayor trabajo de compactación.

Para esta prueba se usa el mismo equipo proctor, pero el



material se compacta en 5 capas con un martillo de 4.5 kg y cayendo de una altura de 46 cm, dando 25 golpes por capa, figura 6.2.

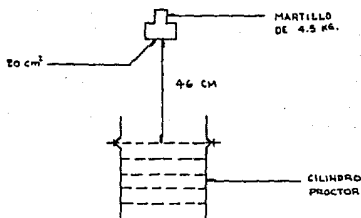


Fig. 6.2 Especificaciones para la prueba Proctor modificada

En todos los aspectos las pruebas son semejantes, únicamente el trabajo de compactación se incrementa 4.5 veces aprox. Sin embargo, si se ensayan las dos pruebas, en diversos materiales, se verá que la densidad se incrementa sólo en 10% aprox. y que la humedad óptima disminuye en un 4 % ó 5 % para la prueba Proctor modificada, lo anterior, es invariablemente cierto.

Las pruebas anteriores dan un buen resultado en suelos cuyos tamaños máximos son de 10 mm (3/8''), en suelos con partículas mayores, el golpe del martillo no resulta uniforme y por lo tanto la prueba puede variar de resultados, aún, en un mismo material.

#### PRUEBA PORTER

Para evitar la dificultad, anterior, se ideó esta prueba, que consiste en lo siguiente:

- a) Se toma una muestra del material a probar y se seca.
- b) Se pasa por la malla de 25 mm (1'') y se determina el porcentaje, en peso, retenido en la malla, si el porcentaje

es menor del 15%, se usará para la prueba el material que pasó la malla. Si el porcentaje retenido es mayor del 15% se prepara, del material original, una muestra que pase la malla de 1'' y que sea retenida en la malla No. 4. de ésta muestra, se pesa un tanto igual al peso del retenido, el que se agrega al material que pasó la malla de 1'', con este nuevo material se procede a la prueba.

- c) A 4 kg de la muestra, así preparada, se le incorpora una cantidad de agua conocida, se homogeniza con el material.
- d) Con este material se llena, en tres capas, un molde metálico de 8'' de diámetro por 8'' de altura con el fondo perforado. Cada capa se pica 25 veces con una varilla de 5/8'' (1.9 cm) de diámetro, de 30 cm de longitud, con punta de bala.
- e) Sobre la última capa se coloca una placa circular, ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro, y se coloca el molde en una prensa de 30 ton.
- f) Se aplica la carga gradualmente, de tal manera que en 5 minutos se alcance una presión de 140.6 kg/cm<sup>2</sup>, la cual debe mantenerse durante un minuto, e inmediatamente se descarga en forma gradual durante un minuto.

Si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde, la humedad ensayada es inferior a la óptima.

- g) Se procede por tanteos hasta que la base del molde se humedezca al alcanzar la carga máxima. La humedad de ésta prueba es la humedad óptima. Se determina entonces el peso volumétrico seco, de la muestra dentro del cilindro, a éste peso se le conoce como el "Peso Volumétrico Seco Máximo Porter", y que será el peso comparativo para el trabajo en campo.

De las pruebas, aquí presentadas, se puede deducir lo siguiente: estas pruebas nos ayudan a determinar el grado de compactación que virtualmente, en función del contenido de humedad, se puede obtener en un material y con ello definir, a la vez, la calidad del trabajo de compactación que se deberá lograr en campo para dicho material. Con esto queremos decir, que teóricamente todo tipo de suelo es susceptible de una buena compactación si se determina la humedad óptima, para lograr en él el P.V.S.M. que se requiera para ello. Sin embargo, en la práctica, será necesario considerar las experiencias obtenidas por Organismos oficiales para diversos materiales. Al respecto, la Secretaría de Obras Públicas (Criterio utilizado para el relleno en la obra del silo) en sus normas para materiales que se emplean en la construcción de revestimientos, sub-bases y bases de pavimentos, menciona que se deberán llenar los requisitos siguientes:

**A) De granulometría:**

- 1) La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3 de la figura 6.3. De preferencia, no deberá utilizarse material cuya curva se encuentre alojada en la zona 1.
  
- 2) La curva granulométrica deberá seguir una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente y la relación del porcentaje en peso que pase la malla 200 al que pase la malla 40, no deberá ser mayor de 0.65. Podrá aceptarse hasta un 5% en volumen, de partículas de tamaño mayor de 76 mm (3") en el material y debiéndose eliminar estas al usarlo.

**B) De contracción lineal, valor cementante y valor relativo de soporte:**

Deberán considerarse los valores fijados en la tabla 6.1. para los materiales comprendidos en las zonas especificadas. Cuando la curva granulométrica del material se aloja en dos o más zonas, en la parte correspondiente

a las fracciones comprendidas entre las mallas 40 y 200, la contracción lineal deberá considerarse para la zona en la cual quede alojada la mayor longitud de dicha parte de la curva, excepto cuando la fracción que pase la malla 200 sea menor que 15 %. en cuyo caso, la zona considerada será aquella en la que se aloje la mayor longitud de la totalidad de la curva.

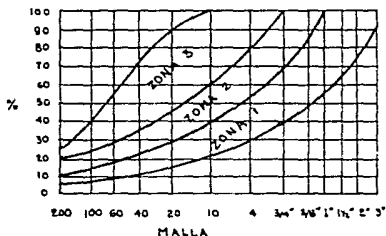


Fig. 6.3 Zonas de especificaciones granulométricas  
( SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS )

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
CONTRACCION LINEAL, EN POR CIENTO.	6.0 max	4.5 max	3.0 max
VALOR CEMENTANTE PARA MATERIALES ANGULOSOS EN KG/CM2	5.5 min	4.5 min	3.5 min
VALOR CEMENTANTE PARA MATERIALES REDONDEADOS Y LISOS, EN KG/CM2	8.0 min	6.5 min	5.0 min
VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTANDAR SATURADO, EN POR CIENTO.	30.0 min		

Tabla 6.1 Valores de Contracción lineal, Valor cementante y Valor relativo de soporte para materiales según su granulometría

C) De grado de compactación:

Estos materiales, en cada caso, se compactarán al grado que fije el proyecto.

Métodos de control de la compactación.

En cualquiera de los métodos existentes, el principal problema radica en la determinación de la humedad para poder calcular el peso volumétrico seco, en función del peso volumétrico húmedo, que es el que se obtiene en las pruebas de campo. Normalmente se calienta el material hasta secarlo y por diferencia de peso se obtiene la humedad, pero este método es lento y no confiable, porque en algunos suelos se altera el peso con el calentamiento, debido a la evaporación de partes orgánicas principalmente.

Para medir, en obra, si se ha alcanzado el peso volumétrico especificado existen los métodos siguientes:

1) Medida física de peso y volumen.

Este método consiste en:

- a) Se excava un agujero de 10 a 15 cm de diámetro o un cuadrado de 15 cm por lado, a la misma profundidad de la capa por probar.
- b) El material excavado es recogido (en bolsas de polietileno para conservar su humedad) y pesado. Se seca para determinar su humedad y el peso volumétrico seco; nunca debe llegarse a la calcinación, sino hasta lograr un peso constante.
- c) El volumen del agujero es medido; el método usado, generalmente, es llenándolo con una arena de peso volumétrico constante arena de ottawa (en el caso del silo, arena sílica).
- d) Conocidos el peso seco de la muestra y el volumen del agujero, se calcula el peso volumétrico seco de la muestra, que debe ser igual o mayor que el peso volumétrico seco máximo

especificado.

Este fue el método empleado para controlar la compactación, llevada a cabo, en el relleno de la cimentación en el silo. En cada capa se hacían de 12 a 15 calas (agujeros) y el promedio de las pruebas se tomó como referencia para determinar el grado de compactación alcanzado en cada capa.

## 2) Prueba de medición nuclear.

Este método aventaja al anterior en cuanto al tiempo y costo; consiste en un bloque de plomo que contiene un isótopo radiactivo y un tubo Geiger, figura 6.4.

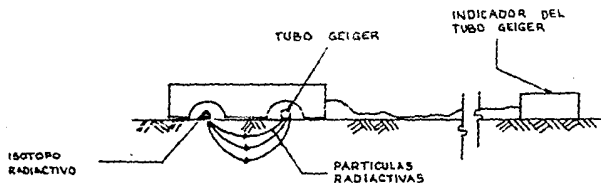


Fig. 6.4 Dispositivos para la prueba de compactación por medio de la medición nuclear.

El bloque se coloca sobre la capa a probar, el número de partículas que llegan al tubo Geiger, está en función de la masa del material que tiene que atravesar, es decir, es función del peso volumétrico; entonces la medida del indicador, debe compararse con otra medida hecha en una capa que tenga el mismo peso volumétrico, esta medida comparativa da como resultado, que la respuesta del grado de compactación obtenido en esa capa se tenga inmediatamente y se pueda proseguir el trabajo en la siguiente. Sin embargo, se necesita una calibración frecuente del indicador, su exactitud varía con el tipo de suelo y en ocasiones la indicación del número de partículas no es clara; pero como se dijo antes, su principal ventaja es que da resultados inmediatos y no hay que esperar mucho para continuar con los trabajos de

compactación.

#### Control de calidad en el concreto.

El concreto, que es una masa endurecida de materiales heterogéneos, está sujeto a numerosas variables; dependiendo de su propia variabilidad, las características de cada uno de los ingredientes del concreto pueden ocasionar variaciones en la resistencia de éste. Las variaciones también pueden ser resultado de la aplicación deficiente de las prácticas seguidas durante el proporcionamiento, la dosificación, el mezclado, la transportación, la colocación y el curado del concreto.

Además de las variables presentes en el concreto mismo, deberán tomarse en cuenta las variaciones que se tienen durante las pruebas de evaluación de su resistencia.

Precisamente el objeto del control de calidad en el concreto, es la de reducir al mínimo aceptable éstas variaciones, determinándose para cada uno de sus componentes, las características intrínsecas que de alguna u otra manera, intervienen en su resistencia; a fin de que, una vez endurecido, se convierta en parte de una estructura homogénea, sana y estable bajo condiciones normales de servicio.

Las reglas generales que establecen las condiciones mínimas para asegurar la calidad del concreto se encuentran, normalmente, en las Normas Oficiales (NOM) ó en las de organismos reconocidos como el American Concrete Institute (ACI), la American Society for Testing and Materials (ASTM), entre otros; sin embargo, en ocasiones, éstos límites pueden ser rebasados debido a las características especiales de la obra, o por las limitaciones de la región, en cuanto a fuentes de abastecimiento se refiere. Estas circunstancias deben ser juzgadas convenientemente y cualquier decisión propuesta, debe garantizar el comportamiento correcto de la estructura, a pesar de aparentes deficiencias en los materiales.

En general, podemos decir que, el control de la calidad en el concreto se basa principalmente en la correcta ejecución de tres actividades fundamentales: la inspección, la verificación y la interpretación de resultados, aplicadas convenientemente a todos y cada uno de los elementos que lo integran.

#### Propiedades índice de los componentes del concreto

A continuación se mencionan las propiedades más importantes de los materiales componentes del concreto y que, por lo tanto, deben ser objeto de control.

#### Cemento Portland

En el sentido general de la palabra, el cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, mismas que le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un material compacto y duro. La mayor parte de las normas para cemento portland limitan la composición química y algunas propiedades físicas de éste. Las propiedades físicas son las que para fines prácticos, y por su fácil determinación, pueden llevarse a cabo aún en laboratorios que no cuentan con equipo y material muy sofisticado.

En seguida se describen, en forma breve, estas propiedades y se mencionan las Normas en que éstas se apoyan.

#### FINURA:

La finura del cemento interviene, en forma determinante, en su resistencia e hidratación, al aumentar ésta, el cemento acelera su hidratación y adquiere rápida resistencia, principalmente durante los primeros 7 días; también con este aumento, el agua necesaria de mezclado disminuye. La finura es característica del cemento portland tipo III.

NOM C-150 1973 determinación de la finura de cementantes hidráulicos mediante el tamiz No. 80 M (200).



NOM C-49 1970 Método de prueba de finura en cementantes hidráulicos mediante el tamiz No. 130 M.

### SANIDAD

Sanidad es la propiedad que tiene una pasta de cemento fraguado a permanecer con un volumen constante. La variación en el volumen se presenta cuando existe cal libre, ya que al absorber agua aumenta notoriamente el volumen de la pasta. Se presenta generalmente después del fraguado inicial.

NOM C-82 1968 Determinación de la sanidad mediante la prueba de la dilatación en autoclave.

### TIEMPO DE FRAGUADO

Se considera que el fraguado, es el proceso por el cual una pasta de cemento pasa del estado fluido al estado sólido y se divide en 2 etapas:

Fraguado Inicial: Considerado desde el momento en que el agua y el cemento hacen contacto, hasta que la aguja del aparato llamado de Vicat penetra 5 mm en la mezcla.

Fraguado Final: Esta etapa ocurre al colocar, una aguja de sección cuadrada de 1 mm con un cono ahuecado de manera que tenga una arista cortante de 5 mm de diámetro y colocado a 0.5 mm arriba del extremo de la aguja, sobre una pasta de cemento y que la aguja deje una marca, no así el filo cortante del cono.

NOM C-59 1975 Determinación del tiempo de fraguado en cementantes hidráulicos (Método de Vicat).

NOM C-58 1967 Determinación del tiempo de fraguado en cementantes hidráulicos (Método de Guillmore).

### FALSO FRAGUADO

Este fenómeno consiste en el endurecimiento casi inmediato, es

decir, antes del tiempo normal de fraguado, de la mezcla. Se origina debido a que el yeso sufre deshidratación, durante la molienda de Clinker y yeso, por falta de control en la temperatura.

NOM C-132 1970 Determinación del fraguado falso del cemento portland por el método de la pasta.

#### RESISTENCIA A LA COMPRESION

Es la resistencia a la compresión obtenida en pruebas de cubos estándar, de 2 pulgadas. Las resistencias a diferentes edades son indicadoras de las características del cemento para adquirir resistencia.

NOM C-61 1976 Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos.

#### PESO ESPECIFICO

El peso específico del cemento generalmente es de 3.15; éste no indica la calidad del mismo, pero su uso principal es para el diseño de mezclas (proporcionamiento).

NOM C-152 1970 Método de prueba para la determinación del peso específico de cementantes hidráulicos.

En general, cuando se usa cemento que tiene demasiado tiempo almacenado, se deben hacer muestreos y ensayos de acuerdo a los antecedentes de uniformidad que se tengan, pudiéndose establecer, inicialmente, una frecuencia de una muestra por cada 1,000 ton y posteriormente ampliarla.

Las pruebas físicas mínimas a que se deben someter las muestras son: sanidad en autoclave, tiempo de fraguado VICAT y Resistencia a la compresión.

## Agregados (arena y grava)

En forma general, los agregados se clasifican en grueso (grava) y fino (arena), se ha establecido como norma que, en cuanto a su tamaño, el agregado grueso está formado por las partículas retenidas en la malla No. 4 (4.75 mm), hasta el tamaño máximo escogido para el concreto. Los tamaños máximos más utilizados son de 3/4" y 1 1/2". A su vez, el agregado fino se compone del material que pasa la malla No. 4 hasta las partículas más finas malla No. 100 (0.15 mm). Resulta importante esta clasificación primordialmente para lograr, en la práctica, una combinación adecuada de estas dos fracciones, asegurando así una composición granulométrica suficientemente uniforme para obtener el producto final deseado.

A saber, existen otras tres clasificaciones, por su origen, por su peso y por su forma y textura; el origen y su composición mineralógica tienen importancia, ya que existe la posibilidad de reacciones nocivas con los componentes alcalinos del cemento; en cuanto al peso son: ligeros, normales y pesados, es útil conocer esta característica de los agregados, ya que permite determinar ó diseñar el peso de las estructuras de concreto. La forma y la textura pueden afectar la compactación y la trabajabilidad del concreto, por lo cual, también pueden alterar la demanda del agua y el cemento y, por consiguiente, a la resistencia final.

Los agregados para concreto deben estar de acuerdo con la norma NOM C-111 1980 (agregados para concreto).

A continuación se mencionan las principales propiedades de los agregados:

Granulometría

Densidad y peso específico

Absorción

Peso volumétrico suelto y compactado.

La composición granulométrica es la distribución de tamaños de

partículas, se determina en laboratorio por medio de una separación mecánica efectuada con mallas reglamentarias. La granulometría de los agregados juega un papel de máxima importancia en las características del concreto; las variaciones en la graduación de los agregados alteran una serie muy compleja de factores, empezando por el área específica del material pétreo, que a su vez afecta la trabajabilidad del concreto y la demanda de agua y cemento, como resultado, también se afecta la compactación de la masa de concreto y otras características tales como el acabado, la segregación y el sangrado.

NOM C-77 1987 Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.

El peso específico, la absorción y el peso volumétrico son importantes para los estudios iniciales del concreto, ya que todos intervienen en el diseño de los proporcionamientos para las resistencias especificadas de proyecto. El peso específico da idea de la composición física de las partículas individuales y es indicio sobre su resistencia potencial; el peso volumétrico también califica al agregado en forma semejante, pero en conjunto; la absorción proporciona idea de la porosidad del material, que estará influenciando, a su vez, la demanda de agua y su densidad aparente.

NOM C-164 1988 Determinación de la masa específica y absorción en el agregado grueso.

NOM C-165 1984 Determinación de la masa específica y absorción en el agregado fino.

NOM C-73 1972 Método para la determinación del peso unitario de los agregados.

Por otro lado, existen elementos o sustancias presentes en los agregados que son perjudiciales y que, consecuentemente, van en detrimento de la calidad del concreto; estas sustancias incluyen las impurezas orgánicas, limo, arcilla, carbón de piedra, lignito y algunas partículas blandas y ligeras. La mayor parte de las normas limitan las cantidades permisibles de sustancias en los agregados.

Los efectos dañinos que éstas sustancias provocan en el concreto, así como las normas que pueden ser aplicadas para descubrir las sustancias perjudiciales se dan en el siguiente cuadro:

SUSTANCIAS PERJUDICIALES	EFECTOS SOBRE EL CONCRETO	NOM
Impurezas orgánicas	Afectan el fraguado y el endurecimiento y pueden producir deterioro.	C-88 1986
Materiales más finos que la malla No. 200	Afectan la adherencia y aumentan la cantidad de agua necesaria	C-84 1983
Carbón de piedra u otros materiales ligeros.	Afectan la durabilidad y pueden producir manchas y reventones.	C-72 1968
Partículas blandas y ligeras	Afectan la durabilidad.	C-72 1983
Partículas frágiles	Afectan la manejabilidad y pueden producir reventones	

Para determinar las características y calidad de los agregados utilizados en el proyecto del silo, se ha seguido el criterio que indica la Secretaría de Recursos Hidráulicos; sin embargo, existen otros como el de PEMEX, Secretaría de Obras Públicas, Comisión Federal de Electricidad, etc., que pueden ser utilizados a criterio del propietario cuando se trata de estructuras de carácter privado. En el caso que el dueño sea una dependencia oficial, se utilizará el que ésta indique.

La importancia de usar el agregado fino o grueso del tipo y calidad adecuadas, no debe subestimarse, puesto que la arena y la grava juntas constituyen alrededor de las tres cuartas partes del concreto. El primer paso para elaborar un buen concreto es.

obviamente, ver que los agregados sean buenos.

Las características a determinar son: Absorción, densidad, peso volumétrico suelto y compactado, humedad, granulometría y cantidad de finos.

En general, éstas son las pruebas más importantes que deben practicarse al realizar la inspección de agregados para concreto. En el cuadro VI.I se presentan los resultados obtenidos de un muestreo de los realizados a uno de los bancos que suministró arena para la obra en cuestión.

En primer término aparece, en este cuadro, el gráfico de los valores resultantes del análisis granulométrico realizado en la arena que, como puede observarse, cae dentro de los límites del tamaño nominal, que establece PEMEX, para este agregado. Estos límites se representan por porcentajes en peso del material que pasa la malla indicada, mismos que definen la granulometría recomendada. Los datos de los valores graficados, aparecen registrados a un lado de la gráfica mencionada.

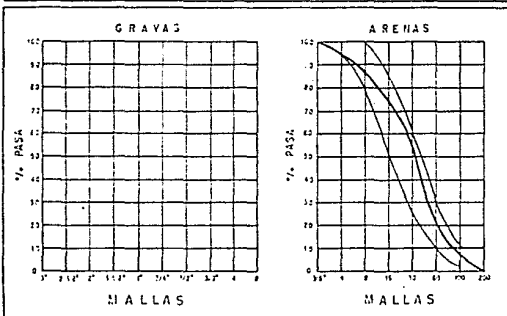
También aparecen registrados los valores índice de la arena, que serán, posteriormente, útiles para el proporcionamiento del concreto.

La atención que se debe dar al aspecto granulométrico de un material, está basada en que siempre se buscará producir mezclas lo más densas posible, es decir, con el mínimo de huecos, ya que éstos tendrían que ser llenados con cemento, encareciendo con ello el concreto elaborado.

A la grava utilizada, se le aplican las mismas pruebas que anteriormente se mencionaron para la arena.

Así mismo, en el cuadro VI.II se presentan los resultados de uno de los muestreos realizados en este material. Es de particular importancia decir que, en este caso, se solicitó anticipadamente que el tamaño máximo de la grava fuera de 3/4".

**CUADRO VII  
 REPORTE DE AGREGADOS**



**MUESTRA No. : 1 POZO 1A**  
**PROVENIENCIA : MANGAS HCO.**  
**OBRA : AMPLIACION**  
**FECHA MUESTREO : 8 abril 89**  
**FECHA INFORME : 12 abril 89**

**OPERACION : JCHM**  
**CNICULO : RSG**  
**REVISOR : Arq. A.F.J.B.**  
**SUPERVISOR :**  
**ENTREGADO :**

**ANALISIS GRANULOMETRICO DE ARENA**

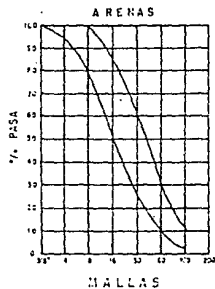
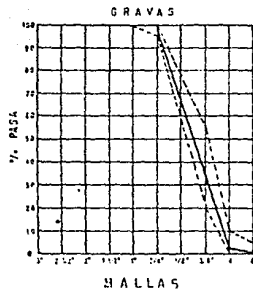
MALLA	PESO RET. PARCIAL	% PARCIAL RETENIDO	% PARCIAL ACUMULATIVO	% QUE PASA
No. 4	665	%	%	%
3"				
2"				
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				100.00
No. 4	170	5.67		94.33
PASA No. 4				
S U M A				
4	265	8.84	14.51	85.49
16	145	11.50	26.01	73.99
30	620	20.66	46.67	53.33
60	945	31.50	78.17	21.83
100	500	16.67	94.84	5.16
200	125	4.16	99.00	1.00
PASA No. 200	30	1.00	100.00	0.00
S U M A	3000			

PRUEBAS INDICE	GRAVAS	ARENAS
DENSIDAD		1.6
ABSORCION		14.50 %
P. V. S. S.		1335.0 Kg/m <sup>3</sup>
P. V. S. C.		1465.00 "
TAMANO MAXIMO		
% MAT. ORGANICA		
ESPESESTE MAT. DEGRADABLE		+ + 11.2%
GRAVA		
ARENA		

TAMANO NOMINAL	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	5	16
3"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2"		100	100	100	100	100	100	100	100	100
1 1/2"			100	100	100	100	100	100	100	100
1"				100	100	100	100	100	100	100
3/4"					100	100	100	100	100	100
1/2"						100	100	100	100	100
3/8"							100	100	100	100
4								100	100	100
5									100	100
16										100
TAMANO NOMINAL	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	5	16
ARENA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**CONSIDERACIONES:**  
 2"  
**SECCION PROFUNDA**  
 (3.95-6.65m)  
 \* VALORES GRAFICA  
 \* DOS LINEAS DE 100%  
 \* VALS

**CUADRO VI.II  
 REPORTE DE AGREGADOS**



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE GRAVA**

MALLA	PESO RET. PARCIAL	% PARCIAL RETENIDO	% PASADO ACUMULADO	% PASA
Nº.	GRS	%	%	%
3"				
2"				
1 1/2"				
1"				
3/4"				100,00
1/2"				
3/8"	2250	64,28	64,28	35,72
Nº. 4	1185	33,87	98,15	1,82
PASA Nº. 4				
S U M A				
8	40	1,14	99,29	0,71
16	25	0,71	100,00	0,00
30				
60				
100				
200				
PASA Nº 200				
S U M A	3500			

MUESTRA Nº.: 14  
 EXPERIENCIA: DOSIF. "ELBA"  
 OBRA: AMPLIACION  
 FECHA MUESTREO: 12 ABRIL 89  
 FECHA MOTRIZ: 12 ABRIL 89

OPERADOR: C.S.M.  
 CALCULO: C.C.R.  
 REVISO: A.G. A.F.J.B.  
 SUPERVISOR:  
 ENTERADO:

PRUEBAS INDICE	GRAVAS	ARENAS
DENSIDAD	2,82	x
ABSORCION		
P. V. S. S.	1297	kg/m <sup>3</sup>
P. V. S. C.		
TAMANO MAXIMO	3/4"	
% MAT. ORGANICA		
DESGASTE		
GRAVA		
ARENA		

TAMANO NOMINAL	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	3	1 1/2"		
1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
2 1/2"		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
2"			100	100	100	100	100	100	100	100	100		
1 1/2"				100	100	100	100	100	100	100	100		
1"					100	100	100	100	100	100	100		
3/4"						100	100	100	100	100	100		
1/2"							100	100	100	100	100		
3/8"								100	100	100	100		
4									100	100	100		
3										100	100		
1 1/2"											100		
1"												100	
3/4"													100
TAMANO NOMINAL	3/4"	4	8	16	30	60	100						
A B R I L	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

OBSERVACIONES:  
  
 TAMANO MAXIMO DE: 3/4"  
 \* VALORES GRAFICA DOS CON LINEAS DISCONTINUAS



Está establecido, que el costo de un concreto es directamente influenciado por el tamaño máximo del agregado que se use, puesto que a mayor tamaño, menor contenido de lechada (agua-cemento). En consecuencia, el tamaño máximo, que se use, queda limitado por el tipo de cimbra (forma), amplitud de la misma, trabajabilidad requerida en el concreto y el espaciamiento del acero de refuerzo.

Para las consideraciones anteriores se pueden tomar como base las recomendaciones que al respecto señala el ACI:

AGREGADO:	REQUISITO:
TAMAÑO MAXIMO	≤ La quinta parte de la menor dimensión entre los lados de la cimbra.
TAMAÑO MAXIMO	≤ La tercera parte del peralte en losas.
TAMAÑO MAXIMO	≤ Las tres cuartas partes del espaciamiento mínimo libre entre varillas individuales de refuerzo, haces de varillas o cables pretensados.

Si de alguna manera es posible asegurar que el concreto podrá ser colocado sin que queden cavidades en la estructura, pueden descartarse las consideraciones anteriores, cuidando únicamente la trababilidad del concreto. En el caso del silo, para el concreto utilizado en los muros, el tamaño máximo se fijó en 3/4" Ø, sin atender a ninguno de los requisitos aquí mencionados; debido principalmente a que este concreto fue bombeado y precisamente para esa condición se recomienda, por experiencia, usar dicho tamaño.

## Agua

Es del dominio común que el agua deseable para satisfacer los requisitos de calidad, al elaborar concreto, debe ser potable. Esto se debe a que es el elemento con el que se producen las reacciones químicas de los componentes del cemento; cualquier otra, como las aguas mezcladas con arcilla, con sales solubles o con presencia de

materia orgánica, siempre provocan descensos en las resistencias finales del concreto. Sin embargo, puede aceptarse alguna si se realiza el análisis químico correspondiente y que al hacer mezclas de prueba, las resistencias obtenidas sean más altas que el 85% de las obtenidas con agua potable.

NOM C-277 1980 Método para obtener una muestra representativa de agua para concreto.

NOM C-283 1982 Métodos de análisis para obtener las características del agua para concreto.

Hasta aquí podemos decir, que hemos cubierto la primera de las actividades básicas para controlar la calidad del concreto, asegurándonos de la buena calidad de sus componentes, mediante la oportuna investigación de sus características principales.

#### Verificación de las propiedades del concreto fresco

Toca ahora realizar la verificación de que, una vez combinados, los elementos que forman el concreto den como resultado un material de la más alta calidad; ya que, a fin de cuentas, es el objetivo que se busca al limitar la variabilidad de éstos.

Para formar criterios de aceptación o rechazo, es necesario conocer las características del concreto fresco, mediante la realización de pruebas al concreto elaborado. Las características más importantes son:

##### **TRABAJABILIDAD:**

Se define como la facilidad que un concreto presenta para ser transportado, colocado y compactado.

##### **SEGREGACION Y SANGRADO:**

Segregación, es la separación de los elementos que forman una mezcla heterogénea, de modo que su distribución deja de ser uniforme. El sangrado, es una forma de segregación, en la cual una parte del agua de la mezcla tiende a elevarse a la

superficie del concreto recién colocado.

#### FRAGUADO:

Se entiende por fraguado al cambio del estado fluido al estado sólido. En concreto se usa para describir la adquisición paulatina de rigidez en la mezcla de concreto.

Es importante hacer notar que la trabajabilidad de un concreto es relativa, ya que, un concreto trabajable para una presa puede no serlo para una columna, por ejemplo. Aún cuando no se conoce un procedimiento de ensaye que pueda medirla directamente, existen algunos que proporcionan información útil, entre ellos tenemos los siguientes:

#### FACTOR DE COMPACTACION:

De entre todos, el más confiable; consiste en determinar el grado de compactación, del concreto, alcanzado por una cantidad estándar de trabajo. El grado de compactación, llamado factor de compactación, se mide por el cociente del peso específico real obtenido de la prueba entre el peso específico del mismo concreto totalmente compactado. Su empleo es poco frecuente debido al tamaño del equipo y solamente se usa en laboratorios de investigación.

#### ESFERA DE KELLY:

Esta prueba es más simple y rápida de realizar que la prueba del revenimiento, sin embargo, su uso no ha sido generalizado en nuestro medio. El método consiste en medir la penetración en el concreto, de una esfera de 3" de radio y 30 lb de peso.

#### PRUEBA DE REMOLDEO DE POWERS:

En esta prueba se mide la trabajabilidad en función del esfuerzo realizado para cambiar la forma de una muestra de concreto, esto es, de la forma de un cono truncado a la de un cilindro. Esta prueba se considera de laboratorio exclusivamente.

#### PRUEBA DE VEBE:

Al igual que la anterior es un procedimiento de remoldeo, para la

cual se ocupa una mesa vibratoria. Por ser un juicio visual, la dificultad de establecer el final de la prueba puede ser una fuente de error, que cambia de operario a operario.

#### PRUEBA DE REVENIMIENTO:

En esta prueba se mide la trabajabilidad en función de la consistencia del concreto, en términos de la disminución de altura de un cono truncado de concreto fresco, al ser retirado el molde que sirve para este ensaye.

El equipo que se especifica para la prueba es: molde metálico en forma de cono truncado, cuyos diámetros son de 10 cm en la punta y 20 cm en la base, con una altura de 30 cm, varilla de acero de sección circular, recta, lisa de 18 mm  $\phi$  y de aproximadamente 60 cm de longitud, con uno de sus extremos redondeados hemisféricamente con un radio de 8 mm y herramienta manual como palas, cucharas, lianas metálicas y guantes de hule.

El revenimiento, se dijo antes, es la medida que resulte del asentamiento de la mezcla desde la altura total del cono (30 cm) hasta la parte más elevada de la misma.

NOM C-156 1980 Determinación del revenimiento del concreto fresco.

Este es el ensaye que con mayor frecuencia se realiza en las obras, debido principalmente a su facilidad de realización y a que se obtienen resultados inmediatos, pudiendo, con ellos, tomar las medidas correctivas necesarias tanto en los agregados como en el equipo, ya sea, verificando la humedad de los primeros ó el funcionamiento y precisión de dosificación y mezclado en el segundo.

Se puede considerar el valor del revenimiento como indicativo de la uniformidad en la relación agua-cemento, para una relación grava-arena determinada. La tabla 6.2 muestra valores de revenimiento, recomendados por el ACI, para diferentes tipos de construcción.

TIPO DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO EN CM	
	MAXIMO	MINIMO
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	8	2
Zapatas, campanas y muros de subestructuras sencillas	8	2
Vigas y muros reforzados, columnas para edificios	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo	5	
Concreto bombeable	Según experiencia y material.	7.5

\* Pueden incrementarse en 2.5 cm cuando el método de compactación no sea mediante vibrado.

Tabla 6.2 Revenimientos recomendados, por el ACI, para diversos tipos de construcción.

#### Verificación del concreto endurecido.

Las principales características del concreto endurecido son:

Resistencia a la compresión, a la tensión, a la flexión, al esfuerzo cortante, a la torsión, al impacto, al intemperismo; adherencia, impermeabilidad, durabilidad, etc.

Con el paso del tiempo y debido al proceso continuo de hidratación del cemento, el concreto tiende a aumentar su resistencia y en general mejora sus características de acuerdo con la edad. Las características o propiedades del concreto endurecido, dependen generalmente de las condiciones de curado a través del tiempo.

Para determinar las características antes indicadas, los ensayos de concreto endurecido pueden clasificarse en: pruebas destructivas y no destructivas. Las primeras se han venido usando desde hace muchos años, sin embargo hasta la fecha no existe una prueba de este tipo que mundialmente sea aceptada, resultando que en

diversos países se utilicen distintos métodos y técnicas. Por lo que respecta a las pruebas no destructivas, éstas hacen posible probar repetidamente la misma muestra, y, consecuentemente, estudiar las propiedades del concreto con el paso del tiempo. Sin embargo, debido a las limitaciones que hay en los métodos indirectos para determinar la resistencia del concreto y sus propiedades, éste tipo de pruebas han sido poco aceptadas, ya, que sólo sirven para una comparación relativa de las propiedades del concreto.

#### **PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS:**

##### **PRUEBA DEL MARTILLO DE REBOTE**

También llamada prueba de martillo de impacto y determina, en realidad, la dureza de la superficie del concreto, no existiendo una relación simple entre la dureza y la resistencia de éste, pudiendo únicamente establecer relaciones empíricas para concretos similares.

##### **PRUEBA DE RESISTENCIA A LA PENETRACION (Pistola Windsor)**

Igualmente, la prueba mide básicamente la dureza y no puede producir valores absolutos de resistencia, por lo que, en la práctica, la resistencia a la penetración debe ser relacionada con la resistencia de muestras de prueba estándar a compresión ó pruebas de corazones.

NOM C-301 1986 Determinación de la resistencia a la penetración.

##### **PRUEBA DE PULSO ULTRASONICO**

Aunque no existe una relación directa entre la velocidad de una onda a través del concreto y la resistencia de éste, ambas tienen relación directa con el peso específico del concreto; la técnica de la velocidad de un pulso ultrasónico, se usa como medio de control en productos que supuestamente están elaborados por concretos semejantes, nuevamente, ésta es una prueba comparativa.

NOM C-275 86 Determinación de la velocidad de un pulso ultrasónico en el concreto.

## PRUEBAS DESTRUCTIVAS

### PRUEBA DE FLEXION

El índice de resistencia a la flexión se obtiene del ensaye de vigas de sección cuadrada, simplemente apoyadas y sujetas a una o dos cargas concentradas, la resistencia a la flexión se usa como índice de la resistencia de pavimentos con concreto simple.

NOM C-191 1986 Determinación de la resistencia a la flexión del concreto.

### PRUEBA BRASILEÑA DE TENSION:

Es un método indirecto para la aplicación de tensión en forma longitudinal, se realiza sobre un cilindro de los que se utilizan para compresión simple, colocado en posición horizontal, aplicando una carga hasta que se presenta una falla de separación por compresión a lo largo de diámetro vertical.

NOM C-163 1986 Determinación de la resistencia a la tensión por compresión diametral de cilindros de concreto.

### PRUEBAS DE CORAZONES

Cuando existe duda sobre la resistencia de un elemento en la estructura, se procede a extraer un corazón por medio de una herramienta cortante giratoria, posteriormente se le aplica una carga, principalmente para determinar su resistencia a compresión. Los especímenes pueden ser cubos ó cilindros.

NOM C-169 88 Prueba de corazones y vigas extraídas de concreto endurecido.

La más común de todas las pruebas, de concreto endurecido, es la prueba de resistencia a la compresión simple, esto obedece, en parte a que es una prueba fácil de ejecutar y en parte a que muchas de las características deseables en el concreto, se relacionan cualitativamente con su resistencia a la compresión ya que, ésta ofrece un panorama general de la calidad del concreto, porque se relaciona directamente con la estructura de la pasta de cemento. Sin

embargo, la razón principal consiste en que, a través de los años, se ha correlacionado la resistencia a la compresión simple, con la resistencia de elementos estructurales de diversos tipos, sujetos a todos los tipos de esfuerzo que se presentan en las condiciones naturales de servicio.

#### PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE

El método consiste en determinar el índice de calidad del concreto  $f'c$ <sup>10</sup>, a una edad de prueba requerida, mediante la aplicación de carga en compresión axial, hasta la ruptura o falla del espécimen; su valor se obtiene del cociente que resulta al dividir la carga aplicada entre el área del espécimen de prueba.

El espécimen usual es un cilindro de 15 x 30 cm (relación de esbeltez igual a dos), sin embargo, la prueba se puede realizar en especímenes cúbicos ó prismáticos; con la única condición de utilizar un factor, por el que se deben multiplicar las resistencias que se obtengan, para hacerlas equivalentes a las que se obtendrían en un cilindro. Estos coeficientes varían según las dimensiones y tipo de espécimen.

Una vez seleccionado el tipo de espécimen, es necesario fijar con gran detalle las condiciones del muestreo, fabricación, curado y ensayo, teniendo particular importancia la velocidad con que se aplica la carga durante la prueba.

NOM C-290 87 Elaboración, curado, acelerado y prueba a compresión de especímenes de concreto.

NOM C-109 85 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

NOM C-83 88 Determinación de la resistencia a la compresión de

<sup>10</sup>  $f'c$  se define como la resistencia a la compresión del concreto y es la resistencia máxima obtenida en cilindros experimentales de 15 cm  $\varnothing$  x 30 cm de h, probados en compresión axial, no confinados, después de curarlos en condiciones estándar de humedad en el laboratorio, durante 28 días.



cilindros de concreto.

Un aspecto importante que debe ser considerado, para asegurar que el concreto llegue a tener la calidad especificada, es la selección del método más adecuado para el curado del mismo.

Al mezclar cemento y agua se da lugar a la reacción química llamada hidratación, es la que hace que el cemento se endurezca y después desarrolle resistencia; sin embargo, este desarrollo se dará sólo si el concreto se mantiene húmedo y a temperatura favorable, especialmente durante los primeros días. Un concreto que ha sido correctamente curado es superior en muchos aspectos.

Los métodos existentes para el curado del concreto pueden ser divididos en dos grupos:

1. Los que mantienen el agua o humedad en contacto estrecho con la superficie del concreto: tales como inundación, rociado, arena húmeda ó yute mojado.
2. Los que evitan la pérdida de humedad del concreto: como hojas de polietileno, papel de sacos de cemento, conservación de la cimbra en posición y aspersión de membranas de curado ( delgadas películas continuas de resina ).

De hecho, los métodos del primer grupo se consideran los más eficaces, pero tienen algunas desventajas prácticas; los del segundo grupo, no tan eficaces como los del primero, en general, son suficientes para cualquier tipo de trabajo.

En la obra del silo se empleo para el curado en losas arena húmeda y para los muros se utilizó el de membrana de curado (sika-antisol).

Métodos estadísticos para la interpretación de resultados de acuerdo de acuerdo al ACI-214-77.

La función principal de los ensayos de resistencia a

compresión del concreto, es asegurar la producción de un concreto uniforme con la resistencia y calidad deseadas. En la actualidad, aprovechando las técnicas estadísticas, es posible controlar la uniformidad de las mezclas de concreto que se fabrican, y así obtener un producto de mejor calidad.

Se puede confiar en producir concreto de calidad si se mantiene el debido control y se interpretan correctamente los resultados de las pruebas, considerando sus limitaciones.

El análisis de numerosos resultados de prueba en una gran variedad de proyectos, hacer ver que la resistencia del concreto se ajusta a determinada pauta de la curva de frecuencia de distribución normal (forma acampanada) Fig. 6.5, esta distribución es simétrica respecto al promedio, quedando la mayoría de los pruebas cerca de éste.

La forma de la curva típica, de distribución de frecuencias, mostrada en la figura 6.5, depende de la variabilidad de los resultados de prueba. Al aumentar la variabilidad, la curva se abate y se alarga. Cuando la variabilidad es pequeña, los valores de resistencias se concentran cerca del promedio y la curva es alta y angosta. Las abscisas representan las resistencias obtenidas en los ensayos y las ordenadas la frecuencia con que se presentan dichas resistencias.

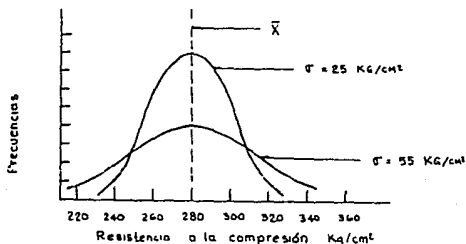


Fig. 6.5 CURVAS DE FRECUENCIA DE DISTRIBUCION NORMAL.

Las funciones principales, de la curva normal de frecuencias, que son útiles para la interpretación de la información recibida son:

$$\text{MEDIA O PROMEDIO } (\bar{X}) : \bar{X} = \frac{X_1 + X_2 \dots + X_n}{n}$$

$X_{1...n}$  = Valor medio de las resistencias de los especímenes que componen una muestra.

$n$  = Número total de muestras, entendiéndose por una muestra, el número total de especímenes que se obtienen de una misma revoltura y que se ensayan a la misma edad. Deben analizarse mínimo 30 muestras.

DESVIACION ESTANDAR ( $\sigma$ )

$$\sigma = \left[ \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n} \right]^{1/2}$$

La desviación estándar es la medida más usual de dispersión con respecto al valor central y es la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de las desviaciones de resistencias, respecto a la resistencia promedio, dividido entre el número de muestras.

La tabla 6.3 tomada del ACI-214-77, sirve como guía para evaluar el grado de control en la uniformidad de la fabricación del concreto, en función de la desviación estándar.

TABLA 6.3 GRADO DE CONTROL DE LA UNIFORMIDAD (KG/CM<sup>2</sup>)

EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABLE	POBRE
Por debajo de	de	de	de	sobre
25	25 a 35	35 a 40	40 a 50	50

NOTA: Esta evaluación representa el promedio de resultados de especímenes ensayados a la edad especificada.

**INTERVALO "R"**

Se determina restando la resistencia más baja de la resistencia más alta del grupo de especímenes que integran una muestra. El intervalo es útil para calcular la desviación estándar y posteriormente, el coeficiente de variación en los ensayos del laboratorio.

Una sola revoltura de concreto no proporciona información suficiente para el análisis estadístico, por lo que se recomienda fabricar y ensayar especímenes compañeros, de por lo menos diez muestras tomadas de diferentes revolturas, para establecer valores confiables de R. La desviación estándar y el coeficiente de variación en los ensayos se calculan como sigue:

- $\sigma_1 = (1/d) R$        $\sigma_1$  = Desviación estándar de los ensayos.  
 $d$  = una Cte. que depende del número de especímenes por muestra ( tabla 6.4 ).  
 $R$  = Promedio o media del total de intervalos  
 $V_1 = (1/\bar{X})100$        $V_1$  = Coeficiente de variación de los ensayos.  
 $\bar{X}$  = Resistencia promedio de todas las muestras.

**TABLA 6.4 VALORES DE d PARA CALCULAR  $\sigma_1$**

No. de especímenes	d	1/d
2	1.123	0.8855
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.325	0.4299

\* Tomada del "Manual de Control de Calidad de Materiales"  
 ASTM Special Technical Publication No. 15 C

La tabla 6.5 tomada del ACI-214-77, califica el grado de control del laboratorio en función de los valores de  $V_1$

TABLA 6.5 GRADO DE CONTROL DEL LABORATORIO

EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABLE	POBRE
Por debajo de 3	de 3-4	de 4-5	de 5-6	arriba de 6

NOTA: Esta evaluación representa el promedio de resultados de especímenes ensayados a la edad especificada.

Otros criterios para la evaluación de uniformidad de las mezclas de concreto, se encuentran en la NOM C-155 1984 grados de calidad del concreto:

#### I. Grado de calidad A (Sólo para resistencia a compresión)

- Se acepta que no más del 20% del número de pruebas de resistencia tengan valor inferior a  $f'_c$  especificada, se requiere un mínimo de 30 pruebas.
- No más del 1% de los promedios de 7 pruebas de resistencia, consecutivas, será inferior a la resistencia especificada.
- No más del 1% de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada menos 50 kg/cm<sup>2</sup>.

#### II. Grado de calidad B (Resistencia a compresión y resistencia a flexión)

- Se acepta que no más del 10% del número de pruebas de resistencia tengan valores inferiores a la  $f'_c$  especificada. Se requiere un mínimo de 30 pruebas.
- No más del 1% de los promedios de 3 pruebas de resistencia, consecutivas, puede ser igual o menor que la resistencia especificada.

c) No más del 1% de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada a compresión menos 35 kg/cm<sup>2</sup> ó resistencia especificada a la flexión menos 4 kg/cm<sup>2</sup>.

El grado de calidad A, se aplica para proyectos que han sido diseñados por el método elástico y el grado B, se aplica para aquellos cuya base de diseño haya sido el método plástico.

A continuación se presenta la aplicación de éstos métodos, a los resultados de algunas muestras, del total que se ensayaron para las diferentes calidades fijadas en la resistencia a compresión, del concreto del silo; se tomará una muestra mínima de 30, no se presenta para todas, ya que en total se obtuvieron 250 muestras aproximadamente. Se escoge para ello, el concreto colocado en el muro del silo, del N +114.000 al N +139.200.

#### APLICACION DE METODOS ESTADISTICOS PARA LA INTERPRETACION DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION EN EL CONCRETO DEL SILO

PROPIETARIO: "LA CRUZ AZUL", S. C. L.  
OBRA: SILO DE HOMOGENEIZACION "D" EDO. DE HIDALGO  
CONSTRUCTORA: LAYASA  
PERIODO DE MUESTREO: DEL 07 AGO 89 AL 12 NOV. 89  
EDAD DE ENSAYE: 28 DIAS  
F'c DE PROYECTO: 350 KG/CM<sup>2</sup>  
NUMERO DE CILINDROS POR MUESTRA: 2  
METODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL: DISEÑO PLASTICO O  
PRESFORZADO/POSTENSADO

#### NOMENCLATURA DE LA TABLA 6.6 REGISTRO DE RESISTENCIAS MUESTRALES.

REV = REVENIMIENTO EN CM.  
RESIST = RESISTENCIA DE LOS CILINDROS C1 Y C2 EN KG/CM<sup>2</sup>  
PROM 1 = PROMEDIO DE LAS RESISTENCIAS DE C1 Y C2 EN K/CM<sup>2</sup>  
INT = INTERVALO DE LA MUESTRA EN KG/CM<sup>2</sup>  
PROM 2 = PROMEDIO DE 3 MUESTRAS CONSECUTIVAS ( GRADO DE CALIDAD B )  
OBSERV = INDICA EL VOLUMEN DEL COLADO CUANDO ES TOMADA LA MUESTRA

TABLA 6.6 RESISTENCIAS MUESTRALES, PARA ANALISIS ESTADISTICO

MUESTRA No.	LOCALIZACION	REV	RESIST		FROM	INT	PROM	OBSERV.
			C1	C2	1	2	2	
149	N114.90 A N118.90	17.5	350	362	356.0	12	367.66	A LOS 20 M3
150	"	18.5	367	362	364.5	5	375.83	A LOS 38 M3
151	"	10.5	376	389	382.5	13	381.33	A LOS 58 M3
152	"	17.5	384	377	380.5	7	378.16	A LOS 78 M3
153	"	10.5	386	376	381.0	10	369.16	A LOS 100M3
154	N118.90 A N123.00	17.5	374	372	373.0	2	360.33	A LOS 3 M3
155	"	17.5	350	357	353.5	7	353.33	A LOS 20 M3
156	"	18.0	352	357	354.5	5	358.16	A LOS 38 M3
157	"	17.5	362	342	352.0	20	355.00	A LOS 50.50
158	"	17.5	357	349	353.0	8	364.16	A LOS 79.50
159	N123.00 A N127.00	17.0	359	361	360.0	2	363.33	A LOS 22 M3
160	"	17.0	378	381	379.5	8	374.50	A LOS 42 M3
161	"	18.0	357	347	352.0	10	374.60	A LOS 65 M3
162	"	18.0	387	397	392.0	10	377.33	A LOS 83 M3
163	"	17.0	375	384	379.5	9	372.16	A LOS 103M3
164	N127.00 A N131.10	17.0	362	362	362.0	0	363.33	A LOS 2 M3
165	N127.00 A N131.10	18.0	380	370	375.0	10	364.66	A LOS 22 M3
166	"	18.0	347	362	354.5	15	359.66	A LOS 42 M3
167	"	18.5	350	370	364.5	11	346.00MM	A LOS 62 M3
168	"	17.5	350	370	360.0	20	346.50MM	A LOS 82 M3
169	"	17.5	312	315	<u>313.5M</u>	3	351.00	A LOS 102M3
170	N131.10 A N135.15	13.5	362	370	366.0	8	373.50	A LOS 2 M3
171	"	13.0	377	370	373.5	7	375.66	A LOS 22 M3
172	"	19.0	377	385	381.0	8	375.16	A LOS 42 M3
173	"	18.5	370	375	372.5	5	369.50	A LOS 62 M3
174	"	10.0	372	372	372.0	0	363.33	A LOS 86 M3
175	"	17.5	355	337	<u>346.0</u>	18	355.33	A LOS 104M3
176	N135.15 A N139.20	18.5	372	372	372.0	0	366.66	A LOS 2 M3
177	"	19.0	349	350	<u>349.5</u>	1	374.66	A LOS 22 M3
178	"	18.0	382	375	378.5	7	364.66	A LOS 42 M3
179	"	18.0	390	402	396.0	12	-	A LOS 62 M3
180	"	19.0	407	412	409.5	5	-	A LOS 102M3

LA CANTIDAD SUBRAYADA INDICA AQUELLAS PRUEBAS CUYO VALOR ES MENOR A f'c.

M INDICA AQUELLOS PROMEDIOS DE 3 MUESTRAS CONSECUTIVAS CUYA RESISTENCIA ES MENOR QUE LA f'c DE PROYECTO NOM C-155 84 ( INCISO B ).

M INDICA AQUELLOS PROMEDIOS DE LAS MUESTRAS CUYA RESISTENCIA ES DE MAS DE 35 KG/CM2 POR DEBAJO DE LA f'c DE PROJ. NOM C-155 84 ( INCISO C ).

De esta serie de datos se obtiene:

$$\text{MEDIA} = \bar{x} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_{32}}{32} = \frac{11.759.5}{32} = 367.48 \text{ KG/CM2}$$

DESVIACION ESTANDAR:

$$\sigma = \left[ \frac{(X_1 - \bar{x})^2 + (X_2 - \bar{x})^2 + \dots + (X_{32} - \bar{x})^2}{32} \right]^{1/2} = 17.46 \text{ KG/CM2}$$

$$\text{MEDIA DE INTERVALOS: } \bar{R} = 252 + 32 = 7.91 \text{ KG/CM2}$$

$$\text{DESV. DE LOS ENSAYES: } \sigma_1 = (1/d) \bar{R}$$

$$d=1.128 \text{ (Tab. 6.4)} \quad \sigma_1 = (1 + 1.128) \times 7.91 = 7.01 \text{ KG/CM2}$$

$$\text{COEF. DE VAR. ENSAYES: } V_1 = (1 / \bar{x}_1) 100$$

$$V_1 = (1 / 367.48) \times 100 = 0.27 \text{ \%}$$

Los cuales, nos sirven para deducir las siguientes conclusiones:

#### NORMA ACI - 214 - 77

LA DESVIACION ESTANDAR ES DE 17.46 KG/CM2 DE DONDE SE DEDUCE QUE, CONFORME AL ACI-214-77, EL GRADO DE CONTROL DE LA UNIFORMIDAD DE FABRICACION ES EXCELENTE DE ACUERDO A LA TABLA 6.3.

EL COEFICIENTE DE VARIACION ES DE 0.27% DE DONDE SE DEDUCE QUE CONFORME AL ACI-214-77 EL GRADO DE CONTROL DEL LABORATORIO ES EXCELENTE DE ACUERDO CON LA TABLA 6.5.



NORMA NOM C - 155 1984

EL PROMEDIO TOTAL DE RESISTENCIA DE LOS CILINDROS DE LAS MUESTRAS ES DE 367.48 KG/CM<sup>2</sup>.

- A) SE TIENE  $(3/32 \times 100) = 9.37$  POR CIENTO DEL TOTAL DE PROMEDIOS DE f'c DE LOS CILINDROS DE LA MUESTRA POR DEBAJO DE LA f'c DE PROYECTO Y EL LIMITE ACEPTADO ES DE 10% PARA DISEÑO PLASTICO O PRESFORZADO POR LO TANTO ESTAS MUESTRAS CUMPLEN ESTA NORMA.
- B) SE TIENEN 2 PROMEDIOS DE 3 MUESTRAS CONSECUTIVAS CUYAS RESISTENCIAS SON MENORES QUE LA f'c DE PROYECTO. ESTAS MUESTRAS NO CUMPLEN ESTA NORMA, YA QUE EN BASE AL 1% DEL NUMERO DE MUESTRAS EN ESTUDIO SOLO 0.92 PROMEDIOS PUEDEN TENER UNA RESISTENCIA MENOR A LA f'c DE PROYECTO.
- C) SE TIENE 1 PROMEDIO, DE LOS CILINDROS DE LAS MUESTRAS CUYA RESISTENCIA ES DE MAS DE 35 KG/CM<sup>2</sup> POR DEBAJO DE LA f'c DE PROYECTO. ESTAS MUESTRAS NO CUMPLEN ESTA NORMA, YA QUE EN BASE AL 1% DEL NUMERO DE MUESTRAS EN ESTUDIO SOLO 0.92 PROMEDIOS PUEDEN TENER UNA RESISTENCIA DE MAS DE 35 KG/CM<sup>2</sup> POR DEBAJO DE LA f'c DE PROYECTO.

La resistencia de los cilindros de control, por lo general, es la única evidencia palpable de la calidad del concreto utilizado en la construcción de una estructura.

Cuando existen resistencias bajas en una estructura, sería un error concluir que su resistencia está en peligro, sólo porque algunos ensayos no cumplen con los requisitos de resistencia especificada.

En las ecuaciones de diseño estructural se proporcionan factores de seguridad que permiten obtener resistencias específicas, sin poner en peligro la seguridad de la estructura. Estos factores se han desarrollado con base en las prácticas de construcción, los procedimientos de diseño y la técnicas de control de calidad utilizadas dentro de la construcción.

## CONCLUSIONES

Al finalizar el presente trabajo y dadas las características de la cimbra deslizante, así como las del sistema de cimbra trepante para la construcción de silos de concreto reforzado, se puede concluir lo siguiente:

Las principales ventajas que encontramos al usar la cimbra deslizante son: el tiempo relativamente corto en el que es posible llevar a cabo el proyecto, ya que, una vez iniciado el deslizamiento debe continuarse con él hasta finalizar totalmente la obra; una ventaja doble, es que se obtiene una estructura prácticamente homogénea y que no se producen juntas frías, debido a que el vaciado del concreto debe realizarse ininterrumpidamente, situación que en el caso estudiado se presentó para cada sección de colado.

Sin embargo, para lograr que el deslizamiento sea continuo, se requiere de la instalación y funcionamiento permanente (durante las 24 hrs. del día) de toda la infraestructura necesaria como lo son: las plantas de producción de agregados o de concreto, las de energía eléctrica; continuidad en la sumistro de materiales de almacén y de bancos (casi siempre se requiere equipo para mover el material); el personal técnico y de campo (es necesario el trabajo por turnos); el equipo y la maquinaria suficientes (como mínimo en dos unidades por cada uno), para evitar rezagos o interrupciones por fallas en los mismos; y evidentemente, se debe tener una sincronización casi perfecta, para no desperdiciar tiempo o recursos.

Como consecuencia de todo ello, es necesario incrementar en todos los sentidos, los recursos necesarios siendo estos, principalmente, la mano de obra, el equipo y las instalaciones.

La necesidad de incrementar los recursos, resulta de la utilización del sistema mismo, ya que si se dejara de deslizar por un día o inclusive por algunas horas, se tendría el inconveniente de

la adherencia entre el concreto y la cimbra, condición para la cual, no está diseñado el sistema.

De lo antes descrito, puede verse la ventaja que tiene utilizar el sistema de la cimbra trepante, dado que en éste se pone en práctica el modo convencional de construcción para estructuras de concreto reforzado, que se resume en: habilitación y colocación del acero de refuerzo y cimbra, colocación de concreto (colado de la estructura), el descimbrado y el curado de concreto. Todo ello, se puede realizar también convencionalmente en jornadas normales de trabajo; aunándose a esto, la disposición de tiempos "fuera de servicio" de la maquinaria y equipo, aprovechándose este, para darles el mantenimiento que requieren, resultando que no es necesario aumentar la serie de recursos para mover el aparato de infraestructura antes mencionado.

Obviamente, que al disminuir los recursos de mano de obra y de equipo, se obtiene una gran ventaja, sobre todo en lo que a mano de obra se refiere, ya que en ocasiones resulta difícil encontrarla, en la cantidad y calidad adecuadas, para jornadas de trabajo poco comunes como la nocturna; además, para esa condición se tienen tres grandes inconvenientes: se incrementa el costo de la misma, el rendimiento es bajo y lo que es peor aún, se incrementan los riesgos de trabajo (debido al tipo de obra en cuestión).

## BIBLIOGRAFIA

Silos Tomo I  
Ravenet C. Juan  
Editores Técnicos Asociados S. A.  
Barcelona España 1977

Buildings for Industry Volume Two  
Henn Walter  
London Iliffe Books L.T.D.  
London 1965

Construcción de Silos con Cimbra Deslizante  
Barrios Martínez M.  
Informes de la Construcción Vol. 29 No. 284 Octubre  
España 1976

Instructivo para el curso "Elaboración del Cemento"  
Información  
Cd Cruz Azul Hgo. 1987

Principales Materiales Fabricados y su empleo en la Construcción  
Apuntes Facultad de Ingeniería  
UNAM 1982

El Concreto en la Obra Tomo I  
IMCYC  
Edit. Limusa S. A.  
México 1988

Instructivo para Concreto  
Secretaría de Recursos Hidráulicos  
México 1967

Apuntes de Acero de Refuerzo  
Ing. Jorge de Alba Castañeda  
Antonio Villegas Rodríguez  
F. I. UNAM 1984

Maquinaria para Construcción  
David A. Day  
Edit. Limusa S. A.  
2da. Reimpresión  
México 1985

Métodos de Planeamiento y Equipos de Construcción  
Robert L. Paurifoy  
Edit. Diana  
México 1975

Planeación y Organización de Obras -Curso-  
Ing. Edmundo Barrera M.  
División de Educación Continua  
UNAM 1987, Mayo

Programación y Control de Obras -Curso-  
Ing. Pedro Llano Martínez  
División de Educación Continua  
UNAM Nov. 1981, May. 1987 y May. 1989.

Factores de Consistencia de Costos y Precios Unitarios  
Ing. Jorge de A. Castañeda  
F. I. UNAM 1983

Costo y Tiempo en Edificación  
Ing. Carlos Suárez Salazar  
Edit. Limusa S.A.  
México 1981

Análisis de Costos Unitarios -Curso-  
División de Educación Continua  
UNAM 1987 y 1989

Costos y su Aplicación a las Obras de Ingeniería Civil  
Francisco Ricci Chacón  
Instituto Técnico de Ingeniería A.C.  
México 1985

Legislación Comparada de la Obra Pública  
Ing. Carlos Suárez Salazar  
Edit. Limusa  
México 1985

Ley del Seguro Social  
Códigos y Leyes  
Edit. Porrúa Hnos. S.A.  
México 1976

Movimiento de Tierras, Excavaciones y Terracerías -Curso-  
División de Estudios Continuos  
UNAM 1988

Control de Calidad en la Construcción -Curso-  
División de Educación Continua  
UNAM 1988

Control de Calidad del Concreto  
Alvaro Ortiz Fernández  
Fundación para la Enseñanza del Concreto A.C.  
FUNDEC 1988

Control de Calidad del Concreto  
YMCYC  
Edit. Limusa S.A.  
México 1990