



*Handwritten signature or initials, possibly 'F-74'.*

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**Facultad de Ingeniería**

**"Concreto para el Turbogenerador Unidad 1, del  
Proyecto Nucleoeléctrico Laguna Verde, Ver.**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de

**INGENIERO CIVIL**

Presenta

**Luis Fernando Huerta Manzanilla**

**MEXICO, D. F.**

**1979.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.



FACULTAD DE INGENIERIA  
EXAMENES PROFESIONALES  
60-1-138

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA

Al Pasante señor LUIS FERNANDO HUERTA MANZANILLA,  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección - propuso el Profesor Ing. Miguel Madinaveitia J., para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CI VIL.

"CONCRETO PARA EL TURBOGENERADOR UNIDAD 1, DEL PROYECTO NUCLEO ELECTRICO LAGUNA VERDE, VER."

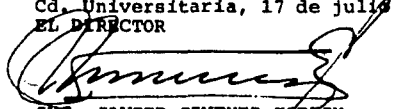
Introducción.

1. Descripción de las estructuras por colar.
2. Fabricación del concreto.
3. Colocación del concreto.

Conclusiones y comentarios.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar -- Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, 17 de julio de 1979  
EL DIRECTOR



ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU



JJE/OFLH/ser

## I N D I C E

Introducción	1
Cap. 1-Descripción de las estructuras por colar.	4
1.1. Estructura	6
1.1.1. Cimentación	6
1.1.2. Mezzanine	6
1.1.3. Piso de Operación	10
1.1.4. Nivel 27.80	10
1.1.5. Columnas	10
Cap. 2-Fabricación del concreto	15
2.1 Especificaciones	15
2.2. Materiales	16
2.2.1. Cemento	17
2.2.2. Agregado	17
2.2.3. Agua	18
2.2.4. Aditivos	19
2.2.5. Pruebas	20
2.2.5.1. Cemento	20
2.2.5.2. Agregado	25
2.2.5.3. Aditivos	34
2.3. Mezclas	38
Cap. 3-Colocación de concreto	45
3.1. Especificaciones	45
3.2. Requisitos	46
3.2.1. Compactación	48
3.2.2. Curado	49
3.3. Métodos empleados	52
3.3.1. Cubo y grúa	52
3.3.1.1. Muros	53
3.3.1.2. Losas	53
3.3.1.3. Columnas	53
3.3.2. Bomba	53
3.3.2.1. Muros	58
3.3.2.2. Losas	58
Conclusiones y comentarios.	62
Bibliografía.	66

## I N T R O D U C C I O N .

El problema de fabricar un concreto que alcance todas las propiedades especificadas por el proyectista, se presenta en ca si todos los trabajos de Ingeniería Civil.

La fabricación de un concreto abarca una larga serie de pa sos, desde la selección del banco de agregados, hasta el curado de la estructura colada.

En todas las referencias citadas en la bibliografía, excep to la No. 1, se hacen recomendaciones de carácter general para la elaboración de un concreto de buena calidad. Este concreto de e be fabricarse al más bajo costo posible.

Cuando se construye una planta nucleoelectrica, hay que -- cumplir con requisitos de las reglamentaciones para construc -- ción y operación.

El propósito principal de esta reglamentaciones es garanti z ar la seguridad del público.

Para poder cumplir con este propósito, es necesario presen u

tar evidencia de que las actividades relacionadas con la seguridad se ejecutaron de acuerdo a un código, norma o procedimiento. La evidencia puede ser un documento escrito, firmado por el personal encargado de la inspección del trabajo.

Cuando se fabrica concreto para una planta nucleoelectrica se inspecciona todo el proceso de la elaboración.

El concreto, como material de construcción, es ampliamente usado en todo el mundo.

Entre sus características principales están su resistencia a la compresión, su durabilidad y su facilidad para adoptar todo tipo de formas.

Debido al proceso de fabricación, es necesaria una cuidadosa supervisión, a lo largo de todo el proceso.

Como nota histórica, los egipcios y los romanos usaban una mezcla de cenizas volcánicas y yeso, que usaban como mortero. El prototipo del cemento moderno fué obtenido en 1845 por Isaac -- Johnson, quien quemó una mezcla de arcilla y caliza hasta la -- formación de clinker, con lo cual se produjo la reacción para -- tener un compuesto cementante.

Los materiales del concreto son:

Agua

Cemento

Agregados

El concreto se obtiene con el mezclado de los diversos elementos, y el proporcionamiento de cada uno de ellos, debe cumplir con los requisitos para una estructura determinada.

Entre las propiedades más importantes del concreto están -- la resistencia, la durabilidad, la impermeabilidad y en el caso del concreto fresco, la trabajabilidad.

El problema principal es fabricar un concreto que satisfaga las exigencias, de una estructura, como son resistencia a la compresión, durabilidad e impermeabilidad. El concreto fresco de

berá ser fácil de manejar, compactar y vibrar.

El propósito de este trabajo es mostrar algunos de los aspectos de la fabricación de concreto, para el Turbogenerador -- Unidad 1, del Proyecto Nucleoeléctrico Laguna Verde.

Para esto primero veremos, en el Cap. 1, el tipo de estructuras que serán coladas, después en el Cap. 2, se tratará la fabricación del concreto.

Los métodos de colocación estan en el Cap. 3.

En este trabajo se trata al concreto como material estructural. No se hace ninguna referencia al concreto como escudo -- contra las radiaciones nucleares. Tampoco se habla del funcionamiento de una planta nuclear.

El trabajo está basado en la experiencia del autor como supervisor de construcción.

## CAP. 1. DESCRIPCION DE LAS ESTRUCTURAS POR COLAR.

El sitio esta localizado 70 Km. al Norte de la ciudad y Puerto de Veracruz, en el estado del mismo nombre, en un lugar conocido anteriormente como Punta Limón, Ver.

El turbogenerador U-1, forma parte de un total de 13 edificios, como se puede ver en la figura 1.

El proyecto comprende dos unidades, cada una de ellas, generará 635 Megawatts. La primera unidad entrará en operación en el año de 1982 y la segunda en 1983,

El nivel cero de los planos, y al cual se hará referencia, está a + 0.785 M.S.N.M. Hay tres pisos principales: El de Cimentación (1.90 m.); el Mezzanine (10.15 m.) y el Piso de Operación (18.70 m.). Existe otro nivel, que es el Techo Inferior (27.80 m.), pero no abarca a todo el edificio.

En el nivel de Cimentación está alojado el condensador y los sistemas auxiliares, como son Recirculación de Agua, Bombas de Condensado y otros. En el segundo nivel, Mezzanine, está la tubería de los sistemas auxiliares y principales, están también -



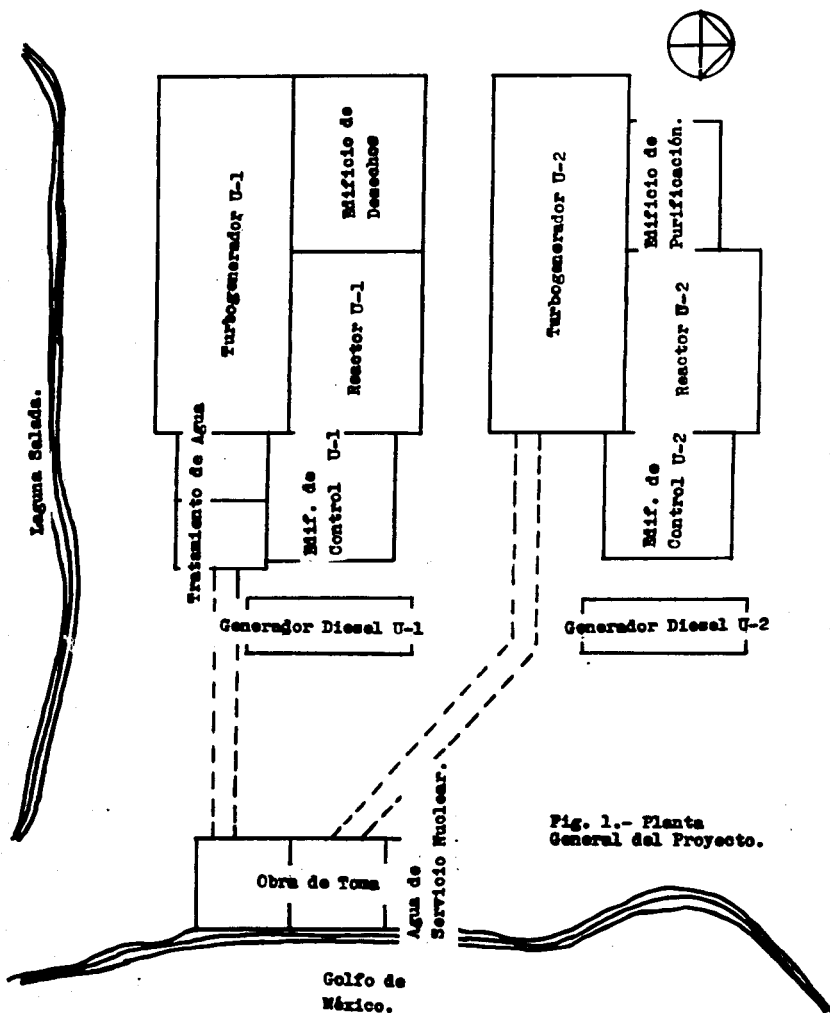


Fig. 1.- Planta General del Proyecto.

Golfo de México.

los tanques de recalentamiento y las bombas de alimentación de las turbinas. En el tercer nivel, Operación, están alojadas las turbinas, el excitador y el estator.

### 1.1. ESTRUCTURA.

El edificio combina dos materiales estructurales: Acero y Concreto reforzado.

Desde la cimentación, el concreto reforzado es el material estructural, y alcanza niveles diferentes, puesto que las losas de concreto llegan hasta la elevación 27.80 m., y algunos muros llegan hasta la elev. 32.00 m.

El resto del edificio, hasta el nivel 42.10 m., está formado por acero estructural, Armaduras, Trabes y Columnas, son los miembros estructurales predominantes.

#### 1.1.1. Cimentación.

Es una placa de concreto reforzada de 2.40 m., de espesor, que se desplanta desde el nivel - 0.55 m., tiene dos capas dobles de acero No. 10 en dirección Norte-Sur y Este-Oeste. Esta placa está apoyada en un basalto de 3 millones de años, con una resistencia de diseño a la compresión de  $80 \text{ Kg/cm}^2$ , con un factor de seguridad de 10.

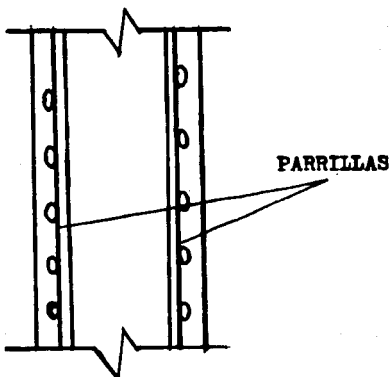
#### 1.1.2. Mezzanine.

- a) Muros.-Los muros varían, en espesores, desde 75 cm. hasta 165 cm. En la tabla 1 se anotan espesores y armados típicos en muros.
- b) Losa.-Los espesores varían entre 30 cm. y 120 cm. los armados típicos se ven en la tabla 2.
- c) Trabes.-Una trabe típica de este nivel tiene 60 cm. de ancho y 125 de peralte. Su armado se muestra en la Fig. 2

#### 1.1.3. Piso de Operación:

ARMADO CON PARRILLA DOBLE

MARCA	ESPESOR	VERTICAL		HORIZONTAL	
M 101	135	# 8	30	# 8	30
M 102	125	# 8	30	# 8	30
M 103	165	# 10	35	# 10	35
M 104	160	# 10	40	# 10	40
M 114	75	# 6	20	# 6	30



Sección

Tabla 1.- Armado típico de muros nivel 10.15

ARMADO CON PARRILLA DOBLE

MARCA	ESPESOR	DIRECCION		DIRECCION	
		ESTE - OESTE		NORTE - SUR	
2L5	30	# 6	35	# 6	35
2L6	45	# 8	30	# 8	30
2L12	125	# 8	30	# 8	30

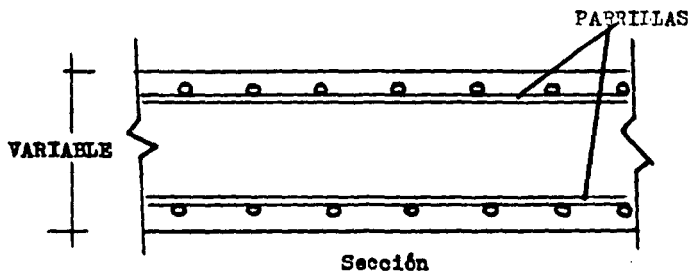


Tabla 2.- Armados típicos de losa, nivel 10.15

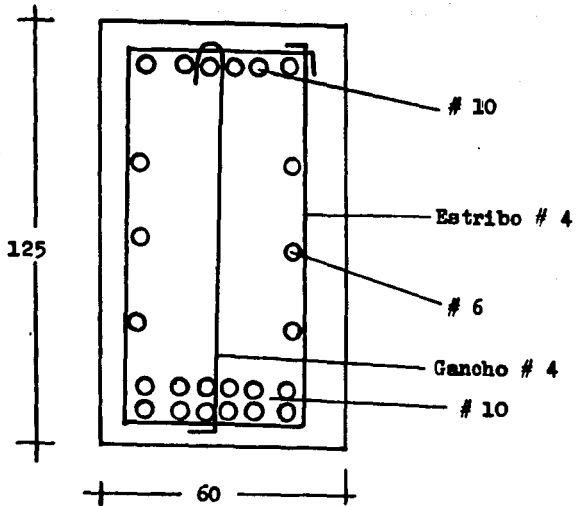


Fig. 2.- Armado típico de traves.

- a) Muros.- Su espesor varía de 50 cm. a 105 cm. en la tabla 3 - se muestran los armados típicos.
- b) Losa.- Su profundidad cambia de 30 cm. a 95 cm. el armado típico de losas es similar al del nivel 10.15 m.
- c) Trabes.- Son similares a las que están en el nivel, 10.15 m.

#### 1.1.4. Nivel 27.80.

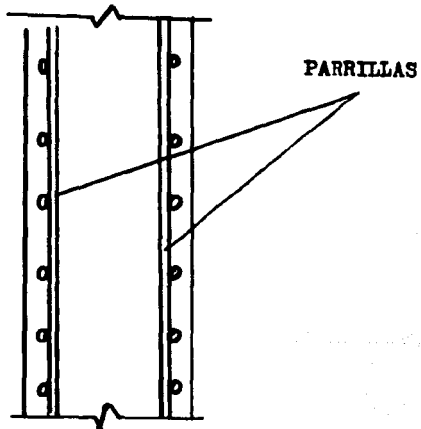
- a) Muros.- Varían sus espesores, desde 30 cm. hasta 135 cm. como se ve en la tabla No. 4, donde se muestra el armado típico.
- b) Losa.- En este nivel se trata de un sistema de losa de concreto, con trabes de acero. Los espesores son de 30 cm. y 45 cm. con varilla No. 4 y No. 6 respectivamente. El armado está en dos capas y dos direcciones.

#### 1.1.5.- Columnas.

Por lo que respecta a columnas, se muestra una columna típica para los niveles ya mencionados en la fig. No. 3.

Para dar una idea de las dimensiones del Edificio en la fig. No. 4, se muestra una vista de la Planta en el nivel 10.15 ó - - Mezzanine.

MARCA	ESPESOR	ARMADO CON PARRILLA DOBLE			
		VERTICAL		HORIZONTAL	
M 201	165	# 10	35	# 10	35
M 210	75	# 8	30	# 8	30
M 208	50	# 8	30	# 8	30

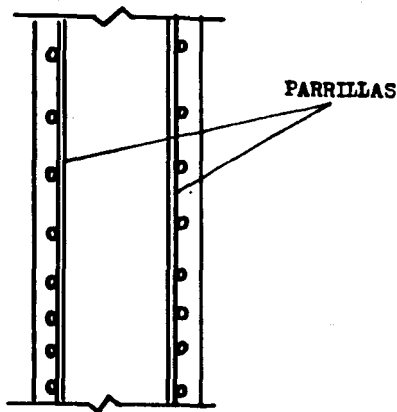


Sección.

Tabla 3.- Armado típico de muros nivel 18.70 .

ARMADO CON PARRILLA DOBLE

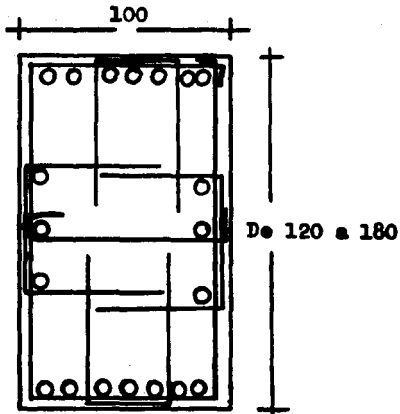
MARCA	ESPESOR	VERTICAL	HORIZONTAL
M 301	125	# 8 30	# 8 30
M 304	145	# 10 40	# 10 40
M 305	30	# 6 30	# 6 35



Sección

Tabla 4.- Armado típico de muros nivel 27,80





Acero de refuerzo : Vertical 22 # 10  
Estribos # 4

Fig. 3.- Armado típico de columnas.

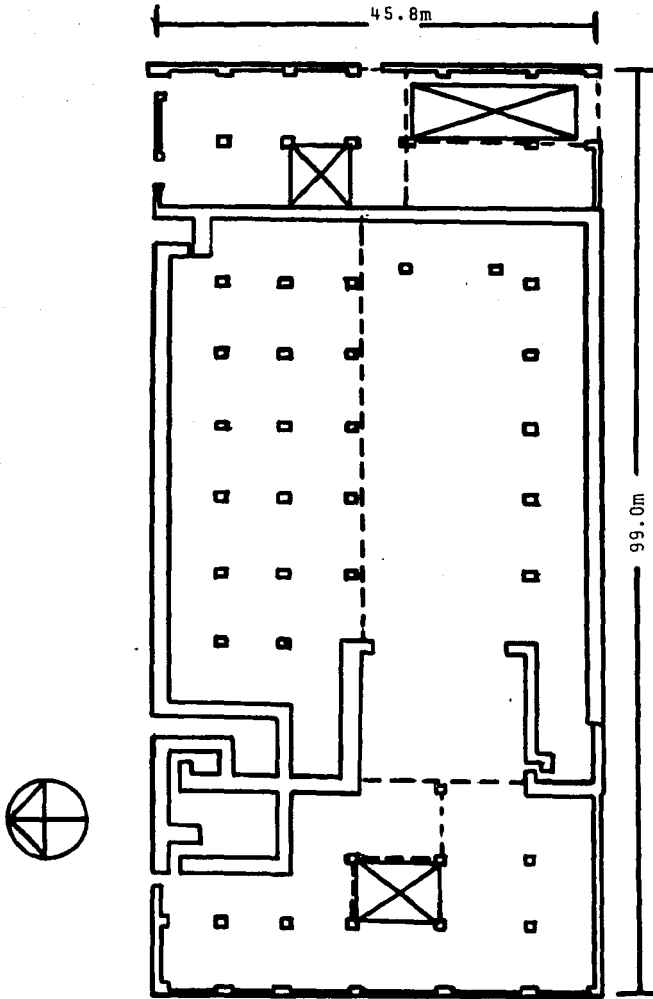


Fig. 4.- Planta TG-U1 nivel 10.15

## CAP. 2.- FABRICACION DEL CONCRETO.

### 2.1. Especificaciones Generales.

Las especificaciones se usan para asegurar que todas las propiedades propuestas por el diseñador, se obtienen en el Campo.

Las especificaciones que marcan las proporciones de materiales para obtener una resistencia dada son sumamente rígidas y no se obtienen los resultados deseados por la variación de los materiales de un lugar a otro. Por eso, las especificaciones modernas tienden a fijar los requisitos para los materiales de una manera tal, que pueda existir variación en los mismo, pero obteniendo concretos de la resistencia deseada. Las especificaciones aquí mostradas se acercan al segundo grupo discutido pero tienen algunos requisitos que incrementan el costo de la mezcla, sin mejorar la calidad.

Las especificaciones C-05 "Trabajo Civil en General" División 3 "Concreto", trata todo lo relacionado con la fabricación del concreto. Se aplica a actividades tales como pruebas físi --

cas y químicas del cemento, diseño de mezclas, etc.

La división está separada en 6 secciones, pero las más interesantes para nuestro trabajo son:

3A- Abastecimiento y producción de agregados.

Se refiere principalmente a las características físicas y químicas de agregados. Clasifica a los agregados en fino y en grueso. Establece los límites granulométricos para agregado fino la densidad, el porcentaje de absorción, la pérdida del volumen por intemperismo y los valores de otras propiedades.

3B- Diseño de las mezclas.

Se refiere a los requerimientos para los materiales del concreto, excepto, para agregado, que está tratado en la sección 3A. Especifica los diversos tipos de mezclas que están en uso en el proyecto, los límites de la relación agua - cemento para la mezcla, revenimiento máximo del concreto fresco y propone el método para diseñar las mezclas.

2.2. MATERIALES.

El concreto es un material compuesto por un material aglutinante, en el cual están embebidos fragmentos de relleno.

En concreto de cemento portland, el aglutinante es una combinación de cemento portland y agua, El material de relleno, es conocido como agregado.

En las mezclas típicas de concreto, el proporcionamiento de materiales está gobernado por los siguientes factores:

- 1) El concreto fresco debe ser fácil de trabajar y colocar.
- 2) El concreto endurecido deberá contar con la suficiente resistencia y durabilidad, para satisfacer los requerimientos del proyectista de la obra.
- 3) El producto tendrá una calidad aceptable, a un costo mínimo.

### 2.2.1. CEMENTO.

El cemento es una substancia en polvo muy fino, compuesto de minerales en forma de cristal, de los cuales los más importantes son silicatos de calcio y de aluminio. Los compuestos de silicato de calcio, al reaccionar con el agua, le dan a la mezcla la apariencia de una roca. La reacción del cemento con el agua se conoce como hidratación, la cual requiere tiempo, temperaturas favorables y la presencia de humedad. Las variaciones en el endurecimiento en resistencia y durabilidad, aparte de -- otras propiedades, es controlado de un modo considerable por -- las proporciones durante la molienda del cemento.

Se ha encontrado que la inclusión de pequeñas burbujas de aire en la mezcla, aumenta la durabilidad del concreto endurecido. La inclusión de aire se hace con agentes químicos.

Debido a que el cemento es fabricado en planta, es difícil que la calidad del cemento tenga variaciones de importancia pero a pesar de eso, las especificaciones modernas para cemento exigen una serie de pruebas para verificar esa calidad.

Se deben tomar precauciones durante el almacenamiento y manejo del cemento, para no alterar sus propiedades. La humedad es el principal enemigo del cemento, porque provoca la hidratación.

### 2.2.2. AGREGADO.

El agregado ocupa aproximadamente tres cuartas partes del volumen del concreto. Por conveniencia, las partículas menores de 3/16" (4.76 mm.), en diámetro, se considera como agregado fino o arena, y las partículas de mayor tamaño, como agregado grueso.

El agregado tiene tres funciones principales:

- 1) Proporcionar un relleno económico para el material cementante.

- 2) Dar al concreto resistencia a la acción de las cargas aplicadas, a la abrasión, a la filtración de la humedad y a la acción del clima.
- 3) Reducir los cambios volumétricos, que resultan del fraguado y endurecido en la pasta de cemento producidos por los cambios de humedad.

Muchas propiedades del concreto se ven afectadas por las características del agregado. Las propiedades del concreto, que resultan del uso de un agregado en particular, dependen de:

- 1) Las características minerales del agregado, por lo que se refiere a resistencia, durabilidad y elasticidad.
- 2) Las características de superficie del agregado, que afectan la trabajabilidad del concreto fresco y la unión dentro de la masa endurecida.
- 3) La granulometría de los agregados, que afecta la trabajabilidad, densidad y economía de la mezcla.
- 4) La cantidad del agregado en un volumen unitario de concreto, que afecta el costo, y los cambios volumétricos durante el secado.

### 2.2.3 AGUA.

El agua usada para concreto no deberá contener sustancias que pudieran tener un efecto dañino sobre la resistencia ó sobre la durabilidad del concreto en servicio. Por lo general el agua que es potable, es útil para uso en mezclas de concreto. El agua limpia de pequeñas corrientes o ríos, que no tenga desechos domésticos, ni sabor salobre, también es aceptable. Las sustancias de una fuente de agua en particular, que podrían afectar la calidad del concreto son: lodo, aceite, ácidos, álcalis y desechos de drenaje. El agua que proviene de corrientes que llevan grandes concentraciones de sólidos suspendidos, agua con desechos industriales, pozos y corrientes en zonas de minas o de zonas áridas, son susceptibles de llevar estas sustancias

No han sido desarrollados límites de tolerancia para el grado de contaminación del agua, para su uso como material del concreto. La Oficina de Reclamaciones de los Estados Unidos y la Asociación Americana de Carreteras Estatales, han sugerido pruebas para conocer acidez, alcalinidad, composición química del agua; pero no dan límites de tolerancia.

Un método práctico para evaluar el uso del agua de calidad discutible, es hacer pruebas comparativas entre cementos y morteros fabricados con el agua en cuestión y otros fabricados con agua de una calidad probada. No deberá haber cambios apreciables entre las propiedades de los cementos y morteros, para aceptar el uso del agua de calidad no probada.

#### 2.2.4. ADITIVOS.

Los aditivos son substancias que se usan en los cementos, morteros y concretos para mejorar ciertas propiedades.

Los propósitos más comunes para los que se usan los aditivos son:

- 1) Mejorar la trabajabilidad.
- 2) Mejorar la durabilidad.
- 3) Retardar el fraguado en zonas calurosas.

Para tomar una decisión sobre el uso de un aditivo, es necesario tomar en cuenta los siguientes factores.

- 1) La posibilidad de alcanzar los resultados deseados con pequeños cambios en la mezcla original.
- 2) El costo adicional por el uso del aditivo, contra el costo de modificar la mezcla original.
- 3) Posibles efectos adversos sobre otras propiedades del concreto, ajenas a la que se desea mejorar.
- 4) Un aditivo debe ser evaluado en base a sus efectos sobre la utilidad final del concreto.

Los aditivos que retrasan el fraguado y endurecimiento del concreto, van acompañados de una reducción en el agua de la mezcla. Se usan principalmente para prevenir los efectos dañinos de altas temperaturas y mantener trabajable el concreto por períodos que abarquen la colocación completa del concreto. Los agentes químicos más comunes que retrasan el fraguado, son ácidos lignosulfónicos y carboxilos, hidroxilos, junto con sus derivados.

Los aditivos inclusores de aires han sido considerados como uno de los avances más importantes en la fabricación del concreto en las últimas décadas. La inclusión de aire mejora la trabajabilidad, reduce la resistencia, reduce el sangrado y la segregación y aumenta la durabilidad. El agente más popular como aditivo inclusor de aire, es la resina vinsol.

#### 2.2.5. PRUEBAS.

Se realizaron diversos tipos de pruebas, para verificar que los materiales elegidos cumplieran con las especificaciones del proyecto y con normas reconocidas de calidad.

##### 2.2.5.1. Cemento.

Se estudiaron dos tipos de cemento, Monterrey tipo II y Tolteca tipo V. Se obtuvieron muestras a fin de conocer sus propiedades físicas y químicas. Debido a que el contenido de agua de la pasta de cemento tiene un marcado efecto sobre el tiempo de fraguado se realiza la prueba de consistencia normal, que es aquella condición para la cual una aguja de un peso determinado penetra 10 mm., de la pasta en 30 seg. [c 187]\*

El tiempo de fraguado de la pasta de cemento de consistencia normal es determinado por la propiedad de una muestra de la pasta para sostener una aguja, con peso y dimensiones ya especificadas.

\* Los número entre paréntesis cuadrados indican la prueba ASTM aplicable.



El fraguado inicial es cuando el concreto inicia un estado de rigidez y el fraguado final puede considerarse como el en endurecimiento de la pasta.

Otra prueba es el análisis granulométrico, que se hace pa ra determinar la finura del cemento. Entre más fino sea el ce - mento la velocidad de hidratación es más rápida y se tiene un - desarrollo más rápido de la resistencia.

Debido a que los procesos de hidratación se inician en la superficie de la película de cemento, el área superficial total de cemento constituye el material de hidratación. Se realiza un examen para conocer la superficie específica del cemento, que - expresa el área por unidad de peso. El método usado en el desa - rrollado por Blaine, este método está basado en la relación entre el flujo de aire a través de un estrato granular y el área - superficial de las partículas del estrato.

La pasta de cemento no debe tener una expansión aprecia - ble, ya que bajo condiciones de esfuerzo, podría agrietarse. Pa ra verificar los cambios de volumen de la pasta de cemento, se - realiza la prueba de expansión en autoclave.

El fraguado falso es el endurecimiento rápido y anormal - del cemento, una vez mezclado con agua. El mezclado continuo pue de romper ese endurecimiento sin afectar el producto final. C451

La resistencia mecánica del cemento endurecido es la pro - piedad del material que posiblemente resulta más obvia en cuan - to a los requisitos para usos estructurales. Para determinar la resistencia del cemento, se utilizan morteros de cemento y are - na. No se conoce con exactitud el mecanismo de falla en compre - sión pero se supone que existen puntos de concentración de es - fuerzo en la masa del sólido, que conducen a la falla general. - Las pruebas se efectúan como muestras en forma de cilindros. La descripción del molde está descrita en ASTM 470, y el procedi - miento de prueba en ASTM C 192.

Entre los factores ajenos al concreto mismo, que afectan los resultados de las pruebas en compresión están, el estado de la base del cilindro, el cabeceado y el tipo de platina de la máquina de prueba.

También se realizan pruebas químicas de cemento para conocer las cantidades de los principales elementos del cemento. Los principales son el óxido férrico, la alúmina, la sílica y la cal. También se checan los álcalis, el óxido de magnesio y el anhídrido sulfúrico. El residuo insoluble es la fracción del cemento que no se disuelve en ácido clorhídrico. La pérdida por calcinación sirve para proporcionar una indicación de la posible prehidratación del cemento.

La tabla siguiente muestra los compuestos principales potenciales del cemento portland.

T A B L A 5.

NOMBRE DEL COMPUESTO	COMPOSICION DEL OXIDO.	ABREVIATURA.
Silicato tricálcico	3 CaO.S.O <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Silicato dicálcico	2 CaO.S.O <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Aluminato Tricálcico	3 CaOAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Alumino Férrico tetracálcico	4 CaOAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Se estudiaron dos tipos de cementos, Monterrey tipo II y Toluca tipo V. Se obtuvieron muestras para conocer sus propiedades físicas y químicas. Los resultados que se obtuvieron se muestran en las hojas siguientes.:

PRUEBAS FISICAS Y QUIMICAS  
DEL CEMENTO- MONTERREY TIPO II

Consistencia Normal	% de agua.	23
Tiempo de fraguado	Inicial: mm.	2:45
Gillmore	Final : hr.	3:15
Pasa malla	200	96.8
	325	80.3
Superficie Especifica (Blaine).cm <sup>2</sup> /g.		3536
Expansión de autoclave	%	- -
Fraguado	Pen. Inicial mm.	28
Falso	Pen. Final mm.	7
Método de Pasta	Pen. Final %	25
Resistencia en	3 días	151
Compresión	7 días	211
	28 días	318
	Relación A/C	0.485
Análisis Químico %	Si O <sub>2</sub> Sílica	21.2
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Alúmina	5.1
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Oxido Férrico	3.3
	CaO Cal combinada	62.4
	CaO Cal Libre	1.1
	MgO Magnesio	2.0
	SO <sub>3</sub> Anhídrido Sul.	2.2
	Residuo Insoluble	0.4
	Pérdida por Calcificación	1.7
	Na <sub>2</sub> O Oxido de Sodio	0.26
	K <sub>2</sub> O Oxido de Potasio	0.54
	(Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O)	0.61
Compuestos	C <sub>3</sub> S Silicato tricálcico	47.6
	C <sub>2</sub> S Silicato dicálcico	24.9
Potenciales	C <sub>3</sub> A Aluminato tricálcico	7.9
	C <sub>4</sub> AF Ferr. Alum. tetracálcico	10.0

PRUEBAS FISICAS Y QUIMICAS  
DEL CEMENTO-TOLTECA TIPO V

Consistencia Normal	% de agua.	23.8
Tiempo de fraguado	Inicial: mm.	4:25
Gillmore	Final : hr.	5:10
Pasa malla	200	92.8
	325	67.3
Superficie Especifica (Blaine).cm <sup>2</sup> /g.		3094
Expansión de autoclave %		0.03
Fraguado	Pen. Inicial mm.	31
Falso	Pen. Final mm.	11
Método de Pasta	Pen. Final %	35
Resistencia en	3 días	149
Compresión	7 días	217
	28 días	312
	Relación A/C	0.485
Análisis Químico %	Si O <sub>2</sub> Sílica	20.6
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Alúmina	4.0
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Oxido Férrico	4.2
	CaO Cal combinada	63.3
	CaO Cal Libre	0.9
	MgO Magnesio	1.7
	SO <sub>3</sub> Anhídrido Sul.	2.7
	Residuo Insoluble	0.4
	Pérdida por Calcinación	2.0
	Na <sub>2</sub> O Oxido de Sodio	0.11
	K <sub>2</sub> O Oxido de Potasio	0.17
	(Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O)	0.22
Compuestos	C <sub>3</sub> S Silicato tricálcico	60.5
	C <sub>2</sub> S Silicato dicálcico	13.5
Potenciales	C <sub>3</sub> A Aluminato tricálcico	3.5
	C <sub>4</sub> AF Ferr. Alum. tetracálcico	12.7

#### 2.2.5.2 Agregados.

El agregado grueso proviene de depósitos naturales de grava localizados en el lecho del río Arroyo Hernández, al Norte del sitio. Estos depósitos reciben el nombre de "Banco Palma So la". La distancia al sitio es de 9 Km.

El agregado fino se trae de bancos situados en el lecho del río San Carlos, que está a 40 Km. al Sur de la obra.

Antes de describir o justificar determinada prueba para el agregado es bueno reconocer los requisitos fundamentales que se deben tomar en cuenta al seleccionar un agregado. Son, a saber economía de la mezcla, resistencia en estado endurecido y durabilidad del concreto en servicio.

La primera prueba realizada es el análisis granulométrico este nombre se le da al análisis por tamaños del agregado. Una buena granulometría será aquella que produzca una trabajabilidad adecuada y facilidad de compactación, aparte del ahorro en cemento, cuando se mantienen fijos el revenimiento y la resistencia. La Norma Astm c- 33 fija los límites de granulometría para concretos de uso general que se muestran en la tabla siguiente:

Requerimientos granulométricos para agregados ASTM  
C 33 .

TABLA 6

Tamaño de la malla	<u>Porcentaje que pasa</u>	
	Agregado fino	Agregado grueso
2"		95 - 100
1 1/2"		
1"		35 - 70
3/4"		
1/2"		10 - 30
3/8"	100	
No. 4	95-100	0 - 5
No. 8	80-100	
No. 16	50-85	
No. 30	25-60	
No. 50	10-30	
No. 100	2-10	

El análisis granulométrico incluye el material más fino - que la malla # 200. Esto es para verificar que la cantidad de finos no exceda de un cierto límite, pues la mezcla requeriría más cemento, manteniendo fijos la resistencia y el revenimiento aumentando su costo.

El módulo de finura es la suma de los porcentajes retenidos acumulados en las distintas mallas, y se calcula solo para el agregado fino. Se supone que el módulo de finura indica el tamaño promedio de la malla en la cual es retenido el material, siendo la malla # 100 la primera, la # 50 la segunda y así sucesivamente.

La densidad se calcula en base al peso de los agregados - en condición saturada y superficialmente seca. Esto es cuando todos los poros de los agregados están llenos de agua y no hay agua alrededor de la partícula.

Para diseño de mezclas, significa que las condiciones de humedad, en estado saturado y superficialmente seco del agregado no influye en el agua de la mezcla. La densidad se usa para calcular la cantidad requerida de agregado para un volumen dado de concreto, ya que expresa la relación del peso del agregado - en la condición ya anotada, al peso de un volumen igual de --- agua.

La absorción se calcula determinando el peso de una muestra después que ha sido sumergida por 24 horas y el peso de la muestra una vez secada; la diferencia en peso, expresada como - un porcentaje del peso de la muestra seca es la capacidad de ab sorción C 127 , C 128.

La absorción se usa como una medida de la porosidad de un agregado. El peso volumétrico se calcula para poder hacer con - versiones de peso a volumen, cuando se maneja el peso por agregado y depende de cuán densamente se ha empacado el agregado y para un material de cierta densidad, el peso volumétrico depende del tamaño, forma y distribución de las partículas de agrega do, y se calcula para el estado suelto y compactado, según ASTM

C 127 y C 128.

La pérdida por intemperismo acelerado es la prueba que se hace para determinar la capacidad del agregado para resistir cambios excesivos de volumen por cambios bruscos de temperatura o por estados mojados y secos sucesivos. Se somete a una muestra de agregado a una inmersión del agregado en una solución del sulfato de sodio, se hace el análisis por malla y se checa el cambio de volumen. C 88 . Esta prueba es cualitativa y no puede usarse como base de aceptación o rechazo.

El análisis petrográfico describe los minerales más comunes e importantes que se encuentran en los agregados.

Y sirve para detectar la presencia de minerales inestables que podrían afectar la calidad del concreto. El coeficiente volumétrico está propuesto por la especificación, pero no hay ninguna razón aparente para hacer ese cálculo. Posiblemente mida la esfericidad del agregado, que está relacionado con el grado de compactación del mismo.

Se realizaron las pruebas sobre muestras obtenidas por cuarteo. En este método se esparce el agregado, divide en cuartos y se eliminan dos cuartos opuestos en diagonal, el proceso se repite hasta obtener el tamaño deseado de la muestra.

Se clasifico la grava en dos tamaños:

Grava 1	-	1/4"	-	3/4"
Grava 2	-	3/4"	-	1 1/2"

Los resultados de las pruebas se anotan a continuación.



PRUEBAS FISICAS DE AGREGADOS  
PARA CONCRETO.

Muestra No. 1

Concepto.	Arena	Grava 1	Grava 2
Retenido malla No. 4	0.8 %	98.3 %	99.8 %
Pasa malla No. 4	91.2 %	1.7 %	0.2 %
Retenido malla 50.8 mm. (2")			
38.1 mm. (1 1/2")			1.4 %
19.1 mm. (3/4")			92.5 %
9.5 mm. (3/8")		62.3 %	6.1 %
4.8 mm. (No.4)		37.7 %	
Retenido malla Núm. 8	4.5 %		
16	12.6 %		
30	29.6 %		
50	35.6 %		
100	14.2 %		
Pasa malla Núm. 100	2.8 %		
200	5.48 %	0.62 %	0.22 %
Módulo de finura	2.50		
Densidad	2.57	2.76	2.8
Absorción	5.80 %	1.34 %	1.47 %
Peso volumétrico suelto	1378Kg./m <sup>3</sup>	1443Kg./m <sup>3</sup>	1429Kg./m <sup>3</sup>
Peso volumétrico compactado	1475Kg./m <sup>3</sup>	1578Kg./m <sup>3</sup>	1596Kg./m <sup>3</sup>
Pérdida por intemp. acelerado	10.98 %	5.92 %	1.40 %

PRUEBAS FISICAS DE AGREGADOS  
PARA CONCRETO.

Muestra No. 2

Concepto.	Arena	Grava 1	Grava 2
Retenido malla No. 4	2.8 %	98.4 %	98.8 %
Pasa malla No. 4	97.2 %	1.6 %	1.2 %
Retenido malla 50.8 mm.(2")			
38.1 mm.(1 1/2")			2.8 %
19.1 mm.(3/4")		0 %	93.8 %
9.5 mm.(3/8")		67 %	
4,8 mm.(No.4)		33 %	3.4 %
Retenido malla Núm. 8	0 %		
16	10.7 %		
30	28.2 %		
50	38.2 %		
100	17.6 %		
Pasa malla Núm.			
100	2.5 %		
200	5 %	0.13 %	0.08 %
Módulo de finura	2.28		
Densidad	2.55	2.77	2.82
Absorción	5.15%	1.83 %	1.71 %
Peso volumétrico suelto	1375Kg./m <sup>3</sup>	1466Kg./m <sup>3</sup>	1520Kg./m <sup>3</sup>
Peso volumétrico compactado	1465Kg./m <sup>3</sup>	1558Kg./m <sup>3</sup>	1623Kg./m <sup>3</sup>
Pérdida por intemp. acelerado			

PRUEBAS FISICAS DE AGREGADOS  
PARA CONCRETO.

Muestra No. 3

Concepto.	Arena	Grava 1	Grava 2
Retenido malla No. 4	1.1 %	97.0 %	99.8 %
Pasa malla No. 4	98.9 %	3.0 %	0.2 %
Retenido malla 50.8 mm. (2")			
38.1 mm. (1 1/2")			0 %
19.1 mm. (3/4")		0 %	91.5 %
9.5 mm. (3/8")		57.2 %	7.2 %
4.8 mm. (No.4)		42.8 %	1.3 %
Retenido malla Núm. 8	3.2 %		
16	11.6 %		
30	28.5 %		
50	35.9 %		
100	16.9 %		
Pasa malla Núm.			
100	2.8 %		
200	4.9 %	0.17 %	0.31 %
Módulo de finura	2.39		
Densidad	2.53	2.80	2.84
Absorción	5.15 %	1.87 %	1.68 %
Peso volumétrico suelto	1273Kg./m <sup>3</sup>	1471Kg./m <sup>3</sup>	1449Kg./m <sup>3</sup>
Peso volumétrico compactado	1468Kg./m <sup>3</sup>	1554Kg./m <sup>3</sup>	1696Kg./m <sup>3</sup>
Pérdida por intemp. acelerado	9.2 %	8.5 %	1.3 %

ANALISIS PETROGRAFICO DE ARENAS.

Roca	No. de		DESCRIPCION			CALIDAD	
	Partes	Color	Forma	Tipo de grama	Superficie	Química	Física
Basalto	52	Negro Rojo	Tabular	Bien Redondeado	Lisa	Inofensiva	Buena
Andesita	5	Café	Tabular	Redondeado	Lisa	Dañina	Buena
Piedra Pómez	17	Café Claro	Tabular	Redondeado	Porosa	Dañina	Mala
Breccia	7	Rosa	Tabular	Redondeado	Aspera	Dañina	Regular
Piroxema	9	Verde	Prismática	Anguloso	Fibrosa	Inofensiva	Buena
Olivino	2	Verde Claro	Prismática	Anguloso	Lisa	Inofensiva	Buena
Feldespatos	6	Blanco	Tabular	Anguloso	Lisa	Inofensiva	Buena
Magnetita	1	Negro		Anguloso	Lisa	Inofensiva	Buena
Conchas	1	Blanco	Gasterópodos	Redondeado	Aspera	Inofensiva	Mala

DETERMINACION DE COEFICIENTE VOLUMETRICO  
DE GRAVAS TRITURADAS.

Grava 1

Peso del material	630 gr.
Número de Partículas	306
Volumen ( $\Sigma V$ )	225 c.c.
Suma $d^3$ ( $\Sigma d^3$ )	2202 c.c.

$$CU = \frac{6 \Sigma V}{\pi \Sigma d^3} = \frac{6 \times 225}{\pi \times 2202} = 0.195$$

Grava 2

Peso del material	2044.5 gr.
Número de partículas	54
Volumen ( $\Sigma V$ )	720 c.c.
Suma $d^3$ ( $\Sigma d^3$ )	4309 c.c.

$$CU = \frac{6 \Sigma V}{\pi \Sigma d^3} = \frac{6 \times 720}{\pi \times 4309} = 0.319$$

La arena muestreada no cumplía la especificación en tres-puntos: Módulo de finura, porcentaje que pasa malla # 200 y densidad. Se debió a deficiencias en la explotación de la arena y con un procedimiento de lavado de la arena, los resultados cumplieron con las especificaciones, lo cual se comprobó en la muestra No. 4, donde se uso el lavado.

#### 2.2.5.3. Aditivos.

No hay ningún conocimiento teórico para predecir el comportamiento del concreto cuando se usa un aditivo determinado y la aceptación del aditivo se hace cuando se comprueba que:

- 1) El aditivo mejora la propiedad deseada.
- 2) No afecta adversamente ninguna otra propiedad del concreto.

La comprobación se hace con mezclas de prueba.

Se estudió el Aditivo Durotard, Reductor de agua y retardador de fraguado. El aditivo se usa para aumentar la trabajabilidad ya que se trata de un clima caluroso la mayor parte del año, y para reducir el sangrado. El ensaye se hizo en forma comparativa, elaborando una mezcla testigo sin aditivo y una mezcla de prueba en la que se uso Aditivo Durotard, en proporción de 2 cm.<sup>3</sup>/Kg. de cemento. En la mezcla se utilizaron los siguientes materiales:

Cemento - Monterrey tipo II  
Arena - Banco San Carlos  
Grava - Banco Palma Sola.

PRUEBAS FISICAS DE AGREGADOS  
PARA CONCRETO.

Muestra No. 4

Concepto.	Arena	Grava 1	Grava 2
Retenido malla No. 4	0.8 %		
Pasa malla No. 4	99.2 %		
Retenido malla 50.8 mm. (2")			
38.1 mm. (1 1/2")			
19.1 mm. (3/4")			
9.5 mm. (3/8")			
4.8 mm. (No.4)			
Retenido malla Núm. 8	8.1 %		
16	17.9 %		
30	36.6 %		
50	25.9 %		
100	9.7 %		
Pasa malla Núm. .			
100	1.8 %		
200	0 %		
Módulo de finura	2.83		
Densidad	2.63		
Absorción	4.3 %		
Peso volumétrico suelto			
Peso volumétrico compactado			
Pérdida por intemp. acelerado	4.92 %		

Los resultados se muestran en las tablas siguientes:

Puede notarse que existe una disminución en la resistencia. Es una desventaja de los aditivos, pero se gana en la economía que se tiene al utilizar menos trabajo en el manejo y la compactación del concreto.



TABLA 7

CONCEPTO	CONSUMOS	
	TESTIGO	PRUEBA
Cemento (Kg./m <sup>3</sup> )	343	345
Arena ( " )	684	687
Grava ( " )	1166	1171
Agua ( " )	198	188
Aditivo ( c.c./m <sup>3</sup> )	-	690

Los resultados son:

TABLA 8

CONCEPTO	RESULTADOS		DIFERENCIAS
	TESTIGO	PRUEBA	
TIEMPO DE FRAGUADO			
Inicial (hr.)	5:10	6:55	1:45
Final (hr.)	8:15	10:05	1:50
Resist. a Comp. 3 días ( Kg/cm <sup>2</sup> )	133	141	
7 " "	177	220	8
28 " "	338	380	43
CONTENIDO AIRE	1.6%	1.6%	43

### 2.3. MEZCLAS.

En este subcapítulo se tratará lo referente al proporcionamiento de mezclas. Las propiedades del concreto es estado endurecido, tales como resistencia y durabilidad, quedan especificadas por el diseñador de la estructura y las propiedades del concreto fresco se rigen por el tipo de construcción y por los métodos de transporte, colocación y compactación. Estos requisitos dan los datos necesarios al ingeniero para determinar las composiciones de la mezcla, aparte del control del concreto en la obra.

El proporcionamiento de la mezcla sería el proceso de seleccionar los ingredientes adecuados para el concreto y determinar sus cantidades para producir un concreto que tenga ciertas propiedades a un costo mínimo.

Cabe aclarar que los materiales usados tienen variaciones y sus propiedades no pueden evaluarse cuantitativamente.

La mezcla proporcionada deberá ser probada en el laboratorio y campo para verificar que posea las características especificadas.

El tamaño máximo del agregado para usar se supone en base al tamaño de la estructura por colar y al espaciamiento del acero de refuerzo de la misma.

El revenimiento se usa para medir de manera gruesa la trabajabilidad de la mezcla. El tamaño de la estructura, el espaciamiento del acero de refuerzo, la cantidad de embebidos requerirán de una trabajabilidad determinada. La trabajabilidad depende del contenido de agua de la mezcla y de la granulometría del agregado.

El método usado para diseñar la mezcla es del Instituto Americano del Concreto ACI 211-71 . Este método es fácil de usar y se aplica a varias condiciones de resistencia y durabilidad. El primer paso es tener el tamaño máximo de agregado, se elige la relación agua-cemento que satisfaga los requisitos ---

de resistencia y durabilidad y se calcula el contenido de cemento. Con los volúmenes de agua, agregado grueso y cemento y restándolos al volumen total de concreto se conoce el volumen del agregado fino. Se hacen correcciones pequeñas y se tiene el proporcionamiento inicial de la mezcla.

El concreto estructural del Turbogenerador U-1 tiene una resistencia de diseño  $f'c = 300 \text{ Kg./cm.}^2$ . Probablemente se tomó este valor para asegurar que el edificio resistiera el peso del equipo y las vibraciones de la turbina, bajo condiciones normales y bajo accidentes sin sufrir movimientos diferenciales que provocaran la rotura de tuberías, lo que causaría la fuga del vapor contaminado proveniente del reactor nuclear; estas fugas podrían contaminar el edificio y los alrededores.

El Reglamento de Construcción del ACI fija un incremento de  $65 \text{ Kg./cm.}^2$ , para la resistencia promedio a la compresión --  $f'cr = 365 \text{ Kg./cm.}^2$ . Este incremento se hace considerando una -- desviación estandar de  $35 \text{ Kg./cm.}^2$ . El tamaño máximo de agregado se eligió de  $3/4"$  ( 19mm.), después de analizar las estructuras por colar mostradas en el primer capítulo.

Para determinar la máxima relación agua-cemento, se hará una gráfica de la resistencia a la compresión contra la relación agua-cemento. La curva que se obtenga deberá estar definida por al menos tres puntos y cada punto será el promedio de al menos tres cilindros probados a los 28 días.

La relación agua-cemento no será mayor de 0.44.

Los datos usados para la mezcla son:

	Densidad	Absorción
Arena	2.55	5.15%
Grava	2.78	1.85%

Estos son los resultados promedios obtenidos en las pruebas de agregados.

La condición de los agregados es superficialmente secos y saturados.

El proporcionamiento arrojó los consumos mostrados en la tabla 9.

Los resultados de la prueba de al menos tres cilindros se muestran en la tabla 10. Con estos datos se dibujó la curva de la relación A/C, que se muestra en la figura 5. Es claro que para  $f'_{cr} = 365 \text{ Kg/cm}^2$ , la relación agua-cemento sobrepasa el valor máximo de 0.44, por lo que este valor se usó como la máxima relación agua-cemento.

Con este dato, se repitió el proporcionamiento de la mezcla y los resultados de las pruebas a compresión en cilindros de 28 días de edad, alcanzaron el valor de  $f'_{cr}$ .

Todas estas pruebas se realizaron al inicio de la producción de concreto. Por retrasos en las entregas de los proveedores se cambió a cemento Orizaba tipo II y se usó aditivo de la compañía Master Builders.

Originalmente no se había pensado en la colocación de concreto con bomba, por lo que se tuvo que proporcionar una mezcla adecuada para ser bombeada.

En la hoja de datos de mezcla que se muestra enseguida, se muestra el proporcionamiento de la mezcla bombeable y el uso del cemento Orizaba tipo II y el aditivo de Master Builders. El resultado de la prueba a 28 días es satisfactorio.

T A B L A 9 C O N S U M O S

RELACION A/C	CEMENTO Kg/m <sup>3</sup>	AGUA Kg/m <sup>3</sup>	ARENA Kg/m <sup>3</sup>	GRAVA Kg/m <sup>3</sup>	ADITIVO cm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
0.44	430	189	607	1182	860
0.46	411	189	616	1192	822
0.48	396	190	626	1196	792

TABLA 10 RESULTADOS

Relación agua/cemento	Rev. cm.	Aire %	Resistencia	
			7 días	28 días
0.44	8.5	1.5	301	404
0.46	11.0	1.6	285	396
0.48	11.0	1.6	282	381

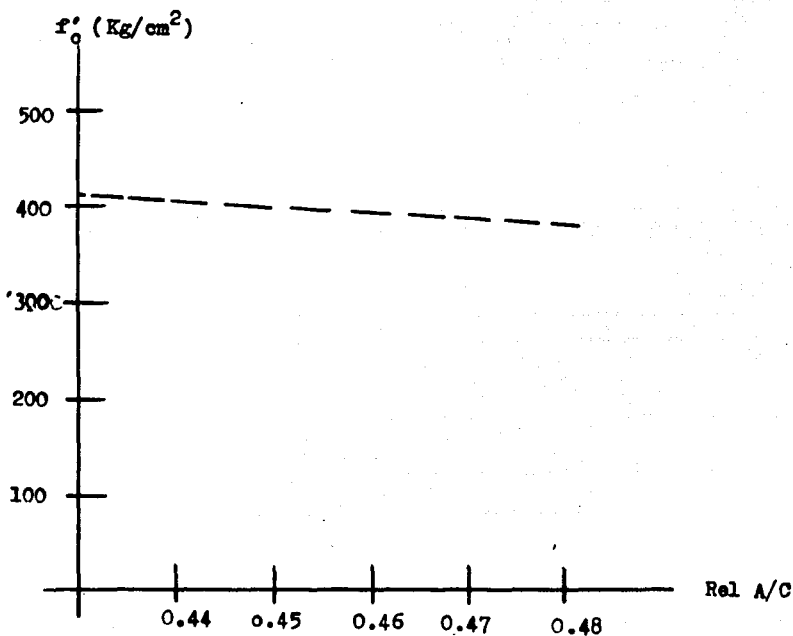


Fig. 5.- Gráfica  $f'_0$  vs. A/C

DATOS DE MEZCLA

Identificación	300 MP.
Resistencia requerida	300 Kg/cm <sup>2</sup>
Revenimiento máximo	10 cm.
Contenido de aire	5%
Relación A/C	0.45
Cemento	Orizaba II
Aditivo	MBP 300R y MBVR.

Consumos-

Cemento	377 Kg/m <sup>3</sup>
Arena	682 "
Agregado 3/4"	1119 "
Aditivo inclusor de aire	202 c.c./m <sup>3</sup>
Aditivo retardante	863 c.c./m <sup>3</sup>
Agua	170 Kg/m <sup>3</sup>

Resultado-

Revenimiento	10 cm.
Aire %	3%
Resistencia a la compresión (28 días)	368 Kg/cm <sup>2</sup>



### CAP. 3 COLOCACION DE CONCRETO,

La colocación de concreto es la operación de llevar el --concreto desde el vehículo o medio de transporte hasta su sitio final en la estructura y compactarlo lo suficiente para garantizar que el concreto alcanzará la resistencia de diseño.

Los métodos y equipos para colocar concreto deberán asegurar que no se altera la calidad del concreto.

Se presentarán más adelante algunas recomendaciones generales para cualquier método de colocación. Se tratarán algunos aspectos de compactación y curado.

#### 3.1. Especificaciones para colocación de concreto.

La división 3, sección 3D, de la especificación C-05 antes mencionada, trata todo lo relacionado con la colocación. Esta sección está basada en la Norma ACI-301.

Los temas que trata son:

Tolerancias en superficies cimbradas, períodos para remoción de cimbra, preparación de las juntas de construcción, alturas de caída del concreto, acabado y curado.

No se anota ningún valor, puesto que toma los valores de la norma ACI-301 ya citada.

Esta sección cae dentro de una especificación normal y no tiene requisitos que pudieran incrementar el costo del concreto de buena calidad, y reflejan las prácticas recomendadas para la colocación propuestas por el ACI. Resultan aplicables a cualquier tipo de construcción.

### 3.2. Requisitos.

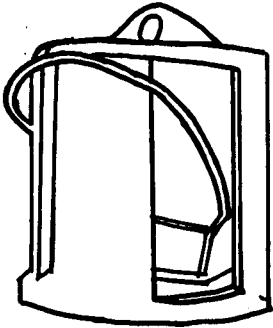
La colocación debe ser cuidadosamente planeada en todos sus aspectos, para asegurar una colocación continua, para prevenir la unión defectuosa entre dos capas sucesivas de concreto.

El principal problema asociado con los métodos de colocación es que se segregue el concreto. La segregación es la separación de los diversos materiales de la mezcla, causando un concreto con poca o casi ninguna homogeneidad. La segregación puede tener dos tipos:

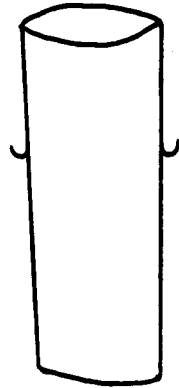
En un tipo el agregado grueso se deposita en la parte baja de la capa colocada. El segundo tipo la pasta agua-cemento se separa del resto de la mezcla.

Por lo tanto deberán tomarse medidas para prevenir la segregación. Se deben colocar para que el concreto no caiga libremente y deflectores al final de canaletas.

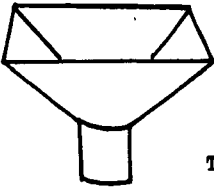
En muros o cimbras estrechas, se colocan tubos, como el mostrado en la figura 6, estos tubos vienen en diámetros que van desde 6" hasta 30". La longitud del tubo es de 1.20 m., aproximadamente. El diámetro del tubo deberá ser 8 veces el tamaño máximo del agregado en uso, para facilitar la caída. Si no se pueden colocar los tubos se colocan tubos flexibles de huleo de lona. En la parte superior de las caídas se deben usar tol



CUBO



TUBO



TOLVA

Fig. 6 . - Equipo para colocación de concreto.

vas, como la mostrada en la figura anterior. Estas tolvas previenen la caída del concreto en el acero de refuerzo o en artículos embebidos, como placas, tuberías, ángulos etc.

La tolva también facilita la caída del concreto en el tubo. En las ocasiones en que no sea posible el acceso para el personal encargado de la compactación al interior de estructuras estrechas y profundas se deben dejar aberturas laterales para efectuar la consolidación. Estas aberturas permanecerán abiertas hasta que el concreto llegue a su borde inferior y después cerrarlas perfectamente.

Las cimbras deben de estar diseñadas para soportar el peso y el empuje lateral del concreto si es necesario, se debe especificar la altura máxima de concreto por unidad de tiempo por ejemplo 60 cm/hora, para muros de alturas considerables.

Todos los accesorios deben estar firmemente apoyados, para evitar que se muevan o se caigan.

### 3.2.1. Compactación.

La compactación es el proceso de eliminar el exceso de aire de la mezcla y hacerla homogénea. Se hace con el fin de evitar huecos en el concreto endurecido, lo que afecta la calidad estructural del mismo.

Uno de los métodos de compactación es la vibración que puede ser externa o interna. Es interna si el equipo se introduce directamente en el concreto.

Un sistema de vibración interna, es con el uso de vibradores, que pueden estar accionados por motores eléctricos de gasolina o por aire.

Cuando se usa aire, es necesario verificar continuamente la presión del aire, pues los descensos de presión producen grandes pérdidas de eficiencia en la compactación.

Durante la vibración, el concreto está sujeto a impulsos vibratorios rápidos, que licúan el mortero.

Estos impulsos vibratorios están definidos por la frecuencia y la amplitud del vibrador. La vibración se hace en dos parte:

- a) Desplome por licuación del mortero.
- b) Eliminación de las burbujas de aire atrapado.

Para que un concreto sea vibrado perfectamente y no queden zonas sin vibrar, lo más recomendable es introducir los vibradores en forma ordenada y vertical, perfectamente inmersos, como se muestra en la figura 7.

Los indicadores visuales de que la vibración en un concreto determinado es la adecuada son:

- a) La aparición de una película delgada y brillante de mortero en la superficie del concreto.
- b) La aparición de pasta de cemento en contacto con la cimbra.

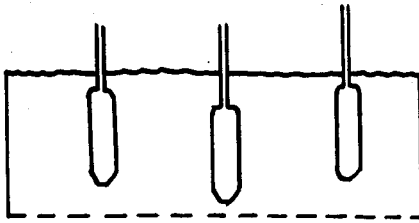
Un vibrado defectuoso puede provocar uno o más de los siguientes defectos:

- Panal de abeja.
- Huecos por aire atrapado.
- Vetas de arena.
- Líneas de escurrimiento.

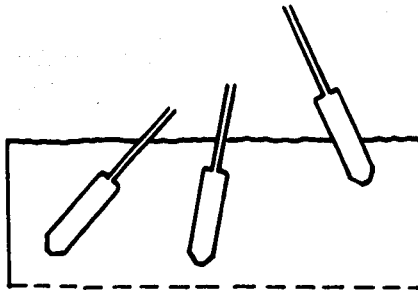
En la figura 8, se muestran estos defectos.

### 3.2.2. Curado.

La pérdida de humedad, inmediatamente después de colocado el concreto provoca la contracción por secado y la formación de grietas en el concreto. Esta falta de humedad se puede remediar con un curado adecuado, en las edades tempranas del concreto.

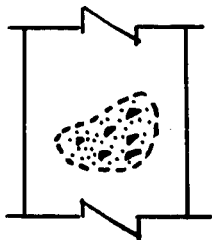


A) CORRECTO

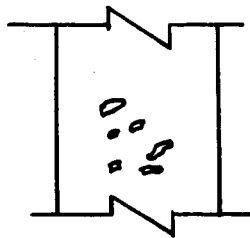


B) INCORRECTO

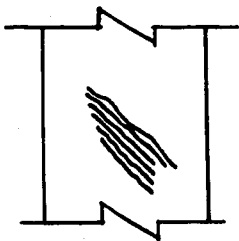
Fig. 7:- Vibrado del concreto.



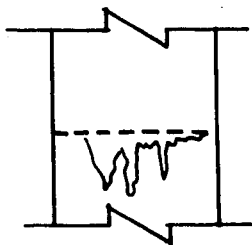
**Panal de abeja**



**Huecos**



**Vetas**



**Líneas de  
escurrimiento**

**Fig. 8.- Defectos por concreto mal vibrado.**

Un buen método de curado en el rocío continuo con agua. Cuando se usa este método, se deberá checar que el agua no -- contenga substancias que manchen o decoloren el concreto. Dos-cuidados se tendrán cuando se aplique este método.

- a) Asegurar un abastecimiento continuo de agua.
- b) Mantener la temperatura del concreto lo más uniforme po-sible.

### 3.3. METODOS EMPLEADOS.

En este subcapítulo, se tratará dos métodos comunes de -colocación y se hablará de su aplicación a varios tipos de es-structuras.

Los métodos más usados en el Turbogenerador Unidad 1 son

- 1.- Cubo y grúa.
- 2.- Bomba

La selección de cualquier método está gobernada por con-sideraciones económicas y de acceso al sitio por colar.

En otros casos será por disponibilidad de equipo.

#### 3.3.1. Cubo y grúa.

El método es el más sencillo. Se llena el cubo directa -mente del camión revolvedor, se iza el cubo con la grúa, se al-re el cubo sobre el sitio por colar y se vacía el concreto. No requiere de preparativos especiales, basta con tener la grúa y el cubo. De acuerdo con la localización del colado, será la --grúa usada. Se pueden usar grúas de diversas capacidades, des-de pequeñas grúas hidráulicas de 5 ton., hasta grúas de 200 -ton. Los cubos usados son como el mostrado en la figura 6 y -sus capacidades varían de  $1.5 \text{ m}^3$  a  $0.5 \text{ m}^3$ .

Los cuidados se limitan a verificar que el concreto ten-ga la suficiente fluidez, para que se descargue con facilidad-del cubo, y que la descarga se haga lo más rápido posible.



### 3.3.1.1. Muros.

Este método se ha usado para colocar concreto en muros - cuyos volúmenes oscilan entre  $150 \text{ m}^3$  y  $30 \text{ m}^3$ . Los rendimientos de colocación dependen del estado de fluidez del concreto de la profundidad y espesor del muro. Para muros los rendimientos varían entre  $15 \text{ m}^3/\text{hora}$  y  $20 \text{ m}^3/\text{hora}$ .

### 3.3.1.2. Losas.

En este tipo de estructuras el método en cuestión se usa como respaldo por si fallara la bomba de concreto. No se usan como equipo principal, por el gran volumen de concreto que llegan casi todas las losas. En las losas con volúmenes inferiores a  $70 \text{ m}^3$ , el método si es aplicable. El rendimiento en estas condiciones puede llegar hasta  $25 \text{ m}^3/\text{hora}$ , pero el promedio es de  $12.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ .

### 3.3.1.3. Columnas.

Este método es el único que se aplica en los colados de columnas por el pequeño volumen de las mismas, que no pasan de  $14 \text{ m}^3$ . La colocación de tubería y la bomba no se justifican para colados en columnas, pues sus costos son más altos que la preparación del cubo y la grúa.

Como se ve en la figura 9 en las columnas se dejan tres ventanas laterales para facilitar la consolidación del concreto. El rendimiento típico en columnas es de  $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ .

### 3.3.2. Bomba.

El método de colocación con bomba se inició por los años 30 y fue usado para colados en túneles, donde se dificultaba el acceso del equipo convencional. En la actualidad su uso se ha incrementado por el mejoramiento de los equipos. Es particularmente ventajoso en lugares de difícil acceso cuando hay que colocar volúmenes que superan los  $100 \text{ m}^3$ .

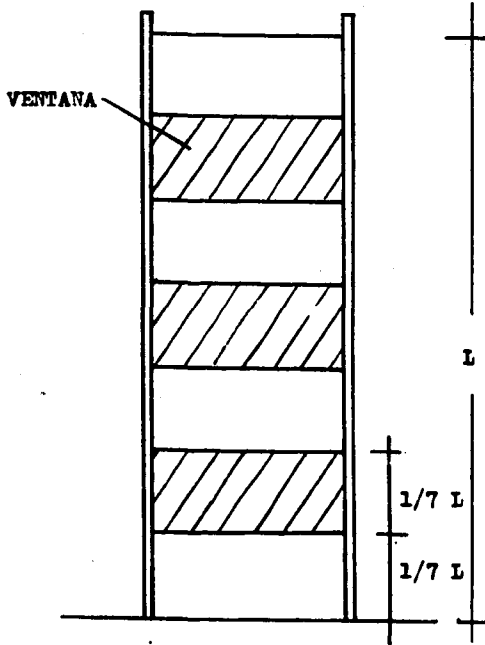


Fig. 9.- Ventanas laterales en columnas.

En el turbogenerador U-1, su uso se inició con losas al nivel 10.15 y actualmente se usa en los colados al nivel 27.80 también los muros y las losas del nivel 18.70 se colaron con este método, excepto los muros de 50 cm. de espesor.

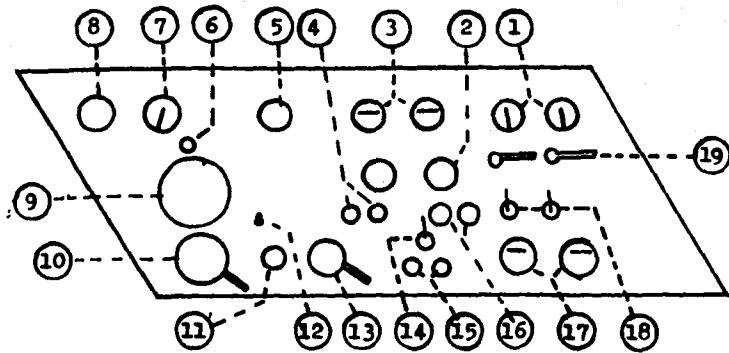
La bomba usada es del tipo de pistón. Tiene tolva receptora con hojas de remezclado. Cuando el pistón inicia la carrera de retroceso se abre una válvula, de la tolva al cilindro - del pistón, entra el en el cilindro y cuando el pistón recorre su carrera empuja el concreto dentro de la tubería. En la figura 10 está el panel de instrumentos de bomba.

El diámetro de la tubería debe ser de cuando menos 6 veces el tamaño máximo de agregado y como el tamaño máximo de la mezcla 300 MP es de 3/4", se eligió una tubería de 6", que es el diámetro comercial disponible.

La tubería viene en tramos rectos de 3.00 m. y 1.50 m., - también hay codos de 90° y 135° de 1.50 m., para cuando se tienen cambios de dirección . Se usa un tubo flexible de 3.00 m., cuando se cuela en losas, para abarcar un área mayor en la descarga. En el caso de muros, válvulas de salida múltiple, que corren a todo lo largo del muro.

Cuando el concreto es bombeado en un tramo recto de la tubería, se mueve el cilindro y una fina película de mortero - le sirve de lubricante.

Cuando existe un cambio en la dirección, la resistencia aumenta al igual que el desgaste de la tubería, por el paso -- del concreto. Si disminuye el diámetro de la tubería para un mismo gasto, aumenta la velocidad, de acuerdo a la ley de continuidad. También aumentan las pérdidas por fricción, por el incremento en la velocidad. Por lo tanto para obtener una resistencia mínima en la tubería , el trazo de la misma será lo más recto posible sin cambios bruscos de dirección y con un mínimo de dobleces. Los cuidados en el manejo y limpieza de la tubería , prevendrán la formación de aristas interiores, que po



- 1.- Tacómetro del motor.
- 2.- Presión de aceite del motor.
- 3.- Temperatura del motor.
- 4.- Luces del generador.
- 5.- Control manual del pistón.
- 6.- Switch de temperatura de aceite.
- 7.- Medidor de temperatura del aceite.
- 8.- Control manual de la válvula de salida.
- 9.- Presión hidráulica.
- 10.- Selector del sentido de la válvula de salida.
- 11.- Inserto para control remoto.
- 12.- Interruptor de la bomba.
- 13.- Selector del sentido del pistón .
- 14.- Interruptor maestro.
- 15.- Botón para apagar el motor.
- 16.- Indicador de precalentamiento del motor.
- 17.- Interruptores del control hidráulico.
- 18.- Válvulas reguladoras.
- 19.- Manivelas de inicio.

Fig. 10.- Panel de intrumentos de la bomba de concreto.

drían incrementar la resistencia en la tubería.

Cuando se coloca concreto con este método, el primer paso es preparar el acceso para la tubería y la soportería de la misma. En ocasiones, puede bastar con colocar unos pocos caballetes de madera, otras veces es necesario armar andamios hasta 16 m. o 17 m., para alcanzar los niveles de la estructura por colar. Los caballetes y los andamios deben soportar el peso propio de la tubería y los empujes de la tubería en el momento de la colocación del concreto. Se colocan vías laterales a todo lo largo de la tubería, para que el personal pueda tener acceso a cualquier sección de la misma, para corregir un desalineamiento o limpiar un taponamiento.

Las juntas entre tramo y tramo, se revisan cuidadosamente para evitar las fugas de mortero, que disminuyen la presión o caen sobre el acero de refuerzo y la cimbra.

Se hace todo lo posible para que la bomba quede cerca del sitio por colar, y que se tenga paso para los camiones revolvedores. Si es necesario se colocan rampas a los lados de la bomba, para que el canalón de descarga del camión revolvedor pueda alcanzar la tolva de la bomba.

Se asegura el abastecimiento continuo de concreto estableciendo comunicación por radio entre la planta de concreto y el sitio de trabajo y los pedidos se hacen de acuerdo al avance en la colocación.

Al iniciarse el colado, se bombea un poco de mortero en la tubería, para que sirva de lubricante y para ser usado en la junta de construcción, si así se requiere, desechando todo el concreto restante. Una vez que la tolva empezó a cargar concreto, bombea lentamente, hasta que se llena la tubería y la bomba trabaja más rápido, hasta alcanzar la velocidad de operación de la máquina.

Cuando hay un retraso, la bomba trabaja lentamente con pequeños empujes, para evitar que el concreto se endurezca en

la tubería. Si el retraso se extiende, es necesario quitar toda la tubería, limpiarla y repetir el proceso.

A través de la colocación, se revisa periódicamente el estado de la tubería, las uniones entre tramos y la bomba.

Cuando el clima es muy caluroso, se riega continuamente la tubería para evitar su calentamiento.

### 3.3.2.1. Muros.

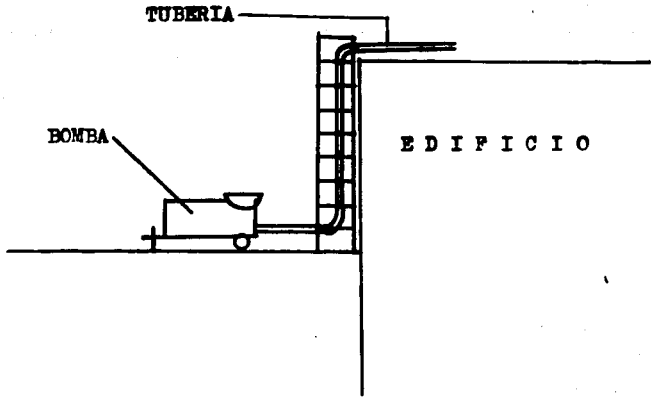
Este método se usa en muros con volúmenes superiores a los  $100 \text{ m}^3$ , que tienen más de 75 cm., de espesor y que son de difícil acceso. Así se han colado muros de 1.65 m. de ancho y  $420 \text{ m}^3$ , de volumen. Prácticamente el método se ha aplicado a todos los niveles. Para los muros de del +10.15 no se usaron rampas porque el nivel del terreno casi coincide con ésta elevación, pero para niveles superiores si es necesario colocar hasta dos rampas.

Si la longitud de la tubería no rebasa los 40 m., no se usa la rampa, sino que se coloca una torre de andamios y la tubería se arma con codos a  $90^\circ$  y la bomba trabaja bien. En caso de exceder la longitud de 40 m., se trata de suavizar los ángulos y facilitar el trabajo de la bomba, y se colocan rampas con codos de tubería a  $135^\circ$ . Los esquemas de los accesos se muestran en la figura 11.

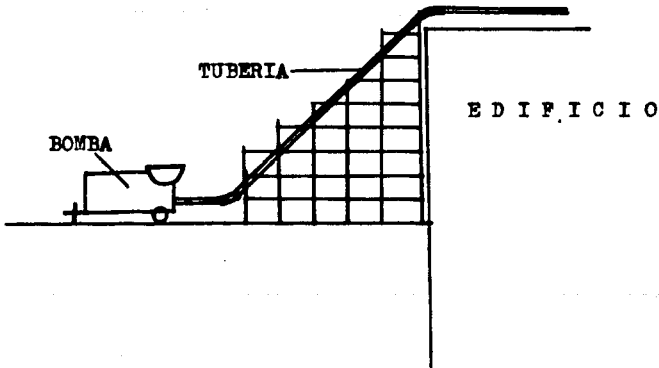
La longitud máxima de tubería para un muro fué de 76m., los rendimientos con este método han variado mucho, posiblemente por el escaso mantenimiento de las bombas y por el clima caluroso que provoca frecuentes bloqueos. Se ha colado con  $10 \text{ m}^3/\text{hora}$ , hasta  $30 \text{ m}^3/\text{hora}$  como máximo.

### 3.3.2.2. Losas.

Se aplica el método de colado con bombas en losas por el volumen de estas principalmente. Hubo losas en que se colocaron hasta  $700 \text{ m}^3$ .



$L < 40 \text{ M}$



$L > 40 \text{ M}$

Fig. 11.- Accesos para la tubería de concreto.

El inicio se hace llenando las trabes y después avanzando sobre la losa en capas de 35 cm. de espesor y 200 cm. de ancho.

El sentido del avance es sobre el lado mayor, como se ve en la figura 12. El sentido, el ancho y el espesor del avance se hacen como se describió para exponer un área mínima de concreto y poder controlar el colado en caso de lluvia o un retraso en el bombeo.

Los armados congestionados, tal como la intersección de trabes y columna, se vibran con todo cuidado, para evitar defectos.

Las longitudes han variado desde 30 m. hasta 90 m. Los rendimientos son mejores que en muros, porque se trata de espacios abiertos. Estos rendimientos van desde  $20 \text{ m}^3/\text{hr.}$ , hasta  $40 \text{ m}^3/\text{hr.}$



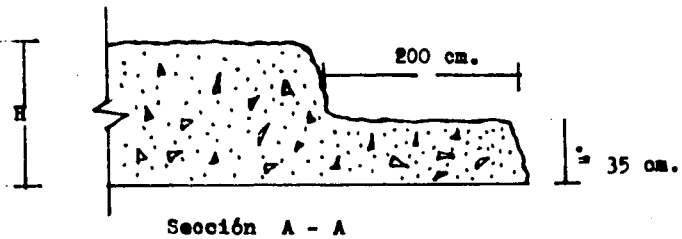
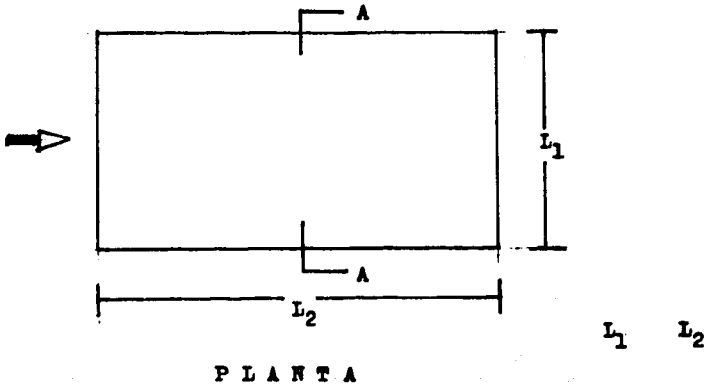


Fig. 12.- Colocación de concreto en losas.

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

En el capítulo 1 se describió ampliamente la estructura, desde el nivel +.190, hasta el + 27.80 y la estructura metálica superior. Se describió el equipo principal en cada nivel.

En el capítulo 2 se trató lo relativo a las pruebas de los materiales seleccionados, y las pruebas iniciales para el diseño de la mezcla 300 M, incluyendo una descripción breve de las especificaciones aplicables.

En el capítulo 3 se hace una descripción de las especificaciones aplicables a la colocación de concreto, se presentan los requisitos usuales para cualquier método de colocación, y al final, se tratan los métodos usuales de colocación en el edificio del TG-U1 del Proyecto Nucleoeléctrico Laguna Verde.

Los problemas relacionados con la fabricación del concreto para cualquier obra están asociados con su importancia.

Una obra puede ser importante por el servicio que presta y por los daños que puede provocar una falla de la Obra.

Una planta común de potencia (hidroeléctrica o termoeléctrica), está relacionada con el servicio que presta, y la importancia de una planta Nucleoeléctrica está en su servicio y en el peligro potencial, que es mayor que para una planta común, por el material fisionable o por la fuga de radiactividad al medio ambiente.

Es por lo anterior, que el control de calidad para la construcción de plantas Nucleoeléctricas es muy estricto, para proteger la salud del público. Todos los materiales usados son probados y los resultados de las pruebas son archivadas, para tenerlos como referencia.

Aunque en este trabajo se presentarán los pasos típicos para la fabricación del concreto para cualquier trabajo Civil, hay que tener presente que se busca un alto grado de calidad en los trabajos.

La organización en el sitio es tal, que el Departamento de control de calidad no depende del grupo de Construcción, y está facultado para rechazar concreto de baja calidad, o no autorizar el inicio de un colado.

Es por eso, que el trabajo debe realizarse con el mayor cuidado, desde el armado y cimbrado de la estructura, y la fabricación del concreto, hasta la colocación, ya que cualquier problema en control de calidad, causa retrasos que afectan el avance de la obra y aumentan los costos.

Como se vió en el Capítulo 1, se tienen porcentajes altos de acero, causando aglomeración de acero y dificultando la colocación del concreto en esas estructuras.

Si tomamos en cuenta que el terremoto básico de diseño -- tiene una aceleración de 0.26g ( $g$ = aceleración), que equivale a  $2.55 \text{ m/seg}^2$ , no es de extrañar que el edificio tenga porcentajes altos de acero de refuerzo, lo que rigidiza la estructura, minimizando su capacidad para absorber la energía durante el sismo.

Es bueno recordar que las estructuras rígidas tienen un tipo de falla frágil.

Otra nota se merecen las pruebas de los materiales para el concreto que están rígidas por normas americanas reconocidas (ASTM), pero que están hechas en base a estadísticas americanas y su aplicación a materiales del país resulta un tanto discutible, sobre todo en lo referente a agregados y su granulometría.

Deberían establecerse límites granulométricos para materiales del país, ya que el satisfacer los límites granulométricos del ASTM, en algún momento pudiera resultar bastante costoso.

Durante la colocación, se han notado prácticas deficientes de compactación, que obligan a efectuar reparaciones, con el gasto de horas-hombres y aumento de costos.

Para prevenir estas deficiencias, se ha iniciado un pro --

grama de preparación para los sobrestantes y vibradoristas, de los métodos para lograr una compactación adecuada, con lo que se han mejorado los resultados, pero estos programas deben hacerse periódicos y no esporádicos.

Hace falta más organización y comunicación entre el campo directivo de construcción. Son tres las compañías involucradas en construcción: Comisión Federal de Electricidad como propietaria, Ingenieros Civiles Asociados como contratista principal y Ebasco Services Incorporated, como asesora, cada una con sus métodos de trabajo y es difícil hallar un acoplamiento perfecto no solo en concreto, también en otras actividades.

Los principales problemas están asociados con el abastecimiento .

Escasea el concreto y la varilla. Constantemente se cambia de marca de aditivo de concreto para evitar la falta de materiales, es necesario mejorar el abastecimiento de materiales al proyecto.

Para elegir el método de colocación ya que se usará para determinada estructura por colar, los factores más importantes son la economía y la localización.

La tabla siguiente es una comparación de los costos por  $m^3$  usando los dos métodos ya descritos. La comparación se hace entre losas y muros y se anotan el colado de columnas con cubo y grúa solo como referencia

	Costo por $m^3$ . ( \$/m <sup>3</sup> ).	
	<u>Grúa y cubo</u>	<u>Bomba</u>
Columnas	750	220
Losas	370	195
Muros	750	

La tabla tiene anotados costos promedio, pero resulta claro que es más ventajoso el colado con bomba que con grúa y cubo.

Pero aparte de las consideraciones económicas, hay que tomar en cuenta la facilidad de acceso al sitio.

Otras ocasiones el factor preponderante es la disponibilidad de bombas, puesto que el proyecto en general tiene varios colados al día, es difícil contar con la bomba de concreto. Actualmente existen en el proyecto 4 bombas y se tiene un pedido por dos más, lo que evitará el problema de la falta de bombas.

Quizás los costos de colocación son más altos que en otros tipos de obras, como edificios o presas de concreto, pero se debe al tipo especial de la obra, que aparte de los problemas comunes en plantas generadoras de potencia, están los problemas que se presentan para mantener el nivel de calidad exigido en los trabajos de plantas nucleoelectricas.

La experiencia ganada en la primera unidad, ésta logrando abatir los consumos de horas-hombres hasta en un 30%, en la colocación de concreto, y en otras actividades de trabajo civil, para la segunda unidad.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Proyecto Nucleoeléctrico Laguna Verde, "Specifications for general civil work". División 3, "Concreto". Enmienda 8. Nueva York. Ebasco Services Inc. 1978.
- 2.- Comité ACI-304, "Placing concrete by pumping methods". Detroit. American Concrete Institute 1971.
- 3.- Comité ACI-301, "Specifications for structural concrete for buildings". Detroit American Concrete Institute 1971.
- 4.- Incyc. NS-3, "Práctica recomendada para la medición, mezclado, transporte y colocación del concreto". México, D.F. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. 1974
- 5.- Neville, A.M., "Tecnología del Concreto". Tomos I y II. México, D.F. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. 1977.
- 6.- Cook, H.R., "Material selection and mixture proportioning". Parte A, - sección 21. "Handbook of heavy construction". Editado por Havers, J.A., y Stubb, Jr., F.W. Nueva York Mc. Graw Hill. 1971.
- 7.- Troxell, G.E., y colaboradores. "Composition and properties of concrete". Nueva York. Mc. Graw Hill. 1968.