



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE  
TANQUES BIODIGESTORES EN LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DE ATOTONILCO**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Civil**

**P R E S E N T A**

Jorge Armando Cruz León

**DIRECTOR DE TESIS**

M. I. Luis Candelas Ramírez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

# Índice general

1.- OBJETIVO.....	5
2.- INTRODUCCIÓN.....	6
3.- MARCO DE REFERENCIA .....	7
3.1 OBJETIVO DEL PROYECTO .....	8
3.2 ANTECEDENTES.....	8
3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	13
3.4 FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LA PLANTA.....	18
3.4.1 TREN DE PROCESO BIOLÓGICO .....	18
3.4.2 TREN DE PROCESO FÍSICO – QUÍMICO.....	19
3.4.3 TRATAMIENTO DE LODOS Y GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	19
3.4.4 GENERACIÓN DE BIOGÁS PARA PRODUCIR ENERGÍA .....	19
3.5 DATOS ECONÓMICOS.....	20
3.6 DATOS TÉCNICOS.....	21
3.7 NORMATIVIDAD APLICABLE AL PROYECTO .....	22
3.8 GEOTECNIA DE LAS PLATAFORMAS 20 Y 22 .....	22
3.8.1 PARÁMETROS DE DISEÑO .....	27
4.- PROCESO CONSTRUCTIVO DE TANQUE BIODIGESTOR.....	35
4.1 CLASIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	36
4.2 DESARROLLO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO.....	36
4.2.1 PRELIMINARES .....	36
4.2.2 CIMENTACIÓN.....	50
4.2.3 MUROS DESLIZADOS .....	66
4.2.4 LOSA TAPA.....	77
4.2.5 SISTEMA DE POSTENSADO .....	81
4.2.6 SEGURIDAD E HIGIENE DURANTE LOS TRABAJOS.....	85
4.2.7 FUERZA DE TRABAJO POR ACTIVIDAD Y POR TANQUE .....	87
4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA.....	89
4.3.1 ACERO DE REFUERZO .....	95
4.3.2 CIMBRA.....	105
4.3.3 CONCRETO .....	108
4.3.4 CONCRETO PREMEZCLADO.....	123
4.3.5 SISTEMA DE POSTENZADO.....	131

5.- COMENTARIOS Y CONCLUSIONES .....	134
BIBLIOGRAFÍA.....	137
ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICAS .....	138
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	140
<b>GLOSARIO</b> .....	142

## DEDICATORIA

*El presente trabajo es dedicado a mi mamá JUANA BERTHA LEÓN GASPÁR, quien ha sido parte fundamental para apoyarme en mi camino, ella me demostró grandes enseñanzas y es la principal protagonista de este “sueño hecho realidad”.*

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS POR DARME LA OPORTUNIDAD DE LLEGAR HASTA ESTE MOMENTO Y SER QUIEN ME MUESTRE LA LUZ POR EL CAMINO DE LA VIDA.

A MI MAMÁ POR SER EL PILAR DE MI VIDA, DARME INSPIRACIÓN EN LOS MOMENTOS MÁS DIFÍCILES Y ENSEÑARME QUE LA VIDA ESTÁ LLENA DE EXPERIENCIAS Y RETOS QUE NUNCA SERÁN TAN GRANDES COMO LA ESPERANZA Y FE DE SEGUIR ADELANTE, ENSEÑARME QUE CUANDO CAIGO ES SOLO PARA IMPULSARME PARA LLEGAR MÁS LEJOS Y MOSTRAR FORTALEZA CUANDO SEA NECESARIO. MI ETERNO RECONOCIMIENTO Y AGRADECIMIENTO INFINITO A TI MAMÁ.

A MI FAMILIA JUANA BERTHA, JORGE, BELEM, PATRICIA Y ERNESTO PORQUE SIEMPRE ES MEJOR ANDAR ACOMPAÑADO PARA QUE EL CAMINO NO SE HAGA PESADO Y SORTEAR JUNTOS LAS ADVERSIDADES.

A LA UNAM PORQUE NUNCA DESISTÍ EN MI SUEÑO DE PERTENECER A TAN MARAVILLOSA INSTITUCIÓN EDUCATIVA, POR DARME LA OPORTUNIDAD DE TENER UNA EDUCACIÓN INTEGRAL, SER UN PROFESIONISTA DE CALIDAD Y SOBRE TODO LAS MEJORES EXPERIENCIAS EDUCATIVAS DE MI FORMACIÓN ACADÉMICA.

AL M.I. LUIS CANDELAS RAMÍREZ POR HABERME APOYADO, ORIENTADO DE FORMA INCONDICIONAL Y SOBRE TODO POR SER PACIENTE EN LA ELABORACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO. A MIS SINODALES EL ING. HERIBERTO ESQUIVEL CASTELLANOS, AL M.I. HÉCTOR JAVIER GUZMÁN OLGUÍN, AL M.I. CARLOS NARCIA MORALES Y AL M.I. RODRIGO TAKASHI SEPÚLVEDA HIROSE.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA: IRVING JUVENAL, FERNANDO REYES, MARISOL ALCÁNTARA, DIANA RESÉNDIZ, JAIME PEÑALOZA, MAURICIO PACHECO, MANUEL ALEJANDRO, FRANCISCO VÁSQUEZ, ANTONIO LIRA, JAVIER PÉREZ, GUILLERMO LEONAR.

A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO: ÓSCAR HERNÁNDEZ, JUAN RENOVATO, RENE MORLAN, LUIS MARTÍNEZ, VANESA, JUAN GUZMÁN, IRINEO, GUILLERMO, BENJY, “FLACO” TOPOGRAFÍA, “GIRO” HERBAS, JUAN HERBAS, EFRÉN MARTÍNEZ, GERARDO VERDEJA, ÓSCAR ZAMUDIO, SANDRA LÓPEZ, JOSÉ LUIS MORALES, HÉCTOR PLAZA, GABRIEL GARCÍA, VERÓNICA HERNÁNDEZ, VERÓNICA, ISABEL, IRVING, ÓSCAR, WENDY PATRICIA CORTEZ, JESSI MEXICANO, EVERARDO MORALES, ERNESTO INDERTVIDZIN, VIRIDIANA ESPINOZA, MARCOS HUERTA, GIO SÁNCHEZ, LUIS ALFREDO TORRES, JAIME MERCADO, ÓSCAR GUERRERO, MARIO.

## 1.- OBJETIVO

El presente trabajo tiene como propósito el desarrollo del proceso constructivo para tanques digestores, siguiendo los lineamientos generales para la coordinación y ejecución de los trabajos con cimbra deslizante, así como una breve exposición de los elementos generales de la planta y en específico del área de los digestores justificando su construcción dentro del proyecto Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco.

## 2.- INTRODUCCIÓN

El contenido de la presente investigación es dar a conocer el proceso desarrollado para llevar a cabo la construcción de tanques digestores de sección transversal cilíndrica de concreto reforzado con sistema de postensado tanto en la dirección vertical como en la horizontal logrando así tener un elemento eficiente y racionalizando materiales para el espesor en muros, así mismo se presentará el proceso de cimbra deslizante usada para obtener un elemento monolítico que se requiere derivado del funcionamiento al que se expondrán los tanques, ya que se requiere tener un elemento impermeable y hermético para lograr contener al interior los gases que se usaran en el proceso de cogeneración de la planta, para lo cual se llevara a cabo la descripción de las particularidades del proyecto y sus alcances para integrar el desarrollo de la construcción en campo exponiendo al mismo tiempo las soluciones constructivas que se han utilizado para resolver las dificultades presentadas.

En primer lugar se requiere tener en cuenta que derivado de la importancia que se debe tomar para el control y disposición de los residuos líquidos generados por los habitantes de la zona metropolitana del Valle de México al ser junto con la Ciudad de México la urbe con mayor explosión demográfica del país, con lo cual se presenta un gran desafío para poder disponer de las aguas crudas y su impacto al medio ambiente, por lo que se planteó el formular una solución para poder ayudar a mejorar la calidad del agua que se descarga a los ríos, esto llevo a la realización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco, lugar ideal por ser parte de la línea de descarga del viejo drenaje profundo y emisor central de la Ciudad de México, apoyando a la infraestructura de mayor antigüedad se llevará a cabo de manera simultánea la construcción de un túnel alternativo de conducción de aguas negras que descargará en el influente de la planta de tratamiento de aguas residuales, con lo cual se tendrá un conjunto integrado que apoyará en la descontaminación de las aguas crudas.

En la presente se muestran los siguientes puntos a tratar:

- Características regionales y locales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Atotonilco
- Descripción de los procesos de tratamiento
- Características puntuales de las plataformas 20 y 22 donde se ubicarán los tanques biodigestores
- Presentación de los elementos geométricos de los tanques
- Elementos estructurales específicos para los tanque circulares
- Descripción del cimbrado y colado continuo de los tanques
- Procedimiento constructivo de los tanques digestores

### 3.- MARCO DE REFERENCIA



### 3.1 OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo fundamental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atotonilco (PTAR Atotonilco) es el tratamiento y limpieza de las aguas residuales generadas en el Valle de México. La PTAR Atotonilco es un proyecto sumamente importante ya que su función será aprovechar la totalidad de las aguas crudas que actualmente son vertidas sin mayor tratamiento al Valle del Mezquital.

El proyecto de saneamiento para el Valle de México tiene como principales propósitos el solucionar los problemas de inundaciones que ocurren durante el periodo de lluvias en la zona urbana de este valle con las obras necesarias para complementar el sistema general de desagüe que regula y desaloja fuera de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) las aguas residuales y pluviales, en particular el Túnel Emisor Oriente (TEO), así como el mejoramiento de las condiciones de calidad del agua para el uso agrícola en el propio Valle de México (VM) y en distritos agrícolas aledaños, estableciendo condiciones acorde con la normatividad vigente y buscando la protección de la población que habita y trabaja en la zona de influencia del programa.

### 3.2 ANTECEDENTES

El Programa Nacional Hídrico (PNH) 2007–2012 manifiesta el valor esencial que tiene el agua como elemento estratégico para atender las necesidades básicas de la población e impulsar el desarrollo de las actividades económicas del país, en un marco que antepone, el cuidado y preservación del medio ambiente para las futuras generaciones.

En este contexto, el PNH 2007–2012, contempló como un objetivo rector del Sector Hídrico el incremento al acceso y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, considerando la complejidad de abastecer el ritmo creciente de la demanda de los servicios de agua y saneamiento de las regiones con mayor dinámica económica y crecimiento poblacional y el incremento de los costos promedio de extracción, suministro, potabilización y tratamiento de las aguas.

Para el logro de este objetivo, en materia de tratamiento de aguas residuales, se estableció la siguiente estrategia, así como sus metas asociadas (Estrategia 2).

En México la cobertura de alcantarillado está definida por la Comisión Nacional del Agua (Conagua), como el porcentaje de la población que habita en viviendas particulares, cuya vivienda cuenta con un desagüe conectado a la red pública de alcantarillado, a una fosa séptica, a un río, lago o mar, o a una barranca o grieta. A diciembre de 2011 se registró una cobertura nacional de alcantarillado de 90.2%.

**Estrategia 2:**

**Tratar las aguas residuales generadas y fomentar su reúso e intercambio**

Indicador	Universo o meta ideal	Valor al año 2006	Meta en el periodo 2007 - 2012	Meta acumulada en al año 2012
<b>2.2.1</b> Tratamiento de aguas residuales colectadas (%)	100	36.1	23.9 puntos porcentuales adicionales	60

Por ello, cuando se habla de tratamiento de aguas residuales como indicador, se habla del porcentaje de aguas residuales colectadas en los sistemas formales de alcantarillado municipales que reciben tratamiento, sin considerar el tratamiento de las descargas industriales; alcanzando para finales de 2011 un 46.5% de tratamiento, de un caudal de aguas negras estimado en 210 m3/s. Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las primeras corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas descargadas directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional, como es el caso de la industria.

El PNH 2007–2012 establece que el tratamiento de las aguas residuales es esencial para garantizar el ciclo del agua, por lo que se identificaron una serie de políticas prioritarias para alcanzar estas metas:

1. El suministro de los servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales debe ser una prioridad en las agendas municipal y estatal.
2. Los municipios e industrias deben cumplir con la normatividad establecida en México en lo que se refiere a las descargas que son vertidas a los cuerpos de agua nacionales.
3. Para cubrir los costos de operación, mantenimiento y renovación de las plantas de tratamiento, es fundamental que los responsables de prestar este servicio establezcan tarifas y sistemas de cobro adecuados.
4. Asegurar el reúso de las aguas producidas, lo que puede contribuir a cubrir parte de los costos operativos de los organismos operadores; por ejemplo, al vender el agua a la industria.
5. Consolidar el reúso del agua residual tratada, así como su intercambio por agua de primer uso en aquellas actividades en que esta opción es factible. De acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales,

“Aguas de primer uso” o “aguas claras”, son aquellas provenientes de distintas fuentes naturales y de almacenamientos artificiales que no han sido objeto de uso previo alguno.

6. Reactivar las plantas que están fuera de operación o que funcionen con bajas eficiencias, con el fin de aprovechar la capacidad instalada.

La consolidación de estas políticas al estar íntimamente relacionada con asuntos sociales, económicos, financieros, ambientales, políticos e institucionales del país; requiere de la acción conjunta de las dependencias y entidades federales, estatales y municipales involucradas de manera directa o indirecta con el recurso, además de los usuarios y la población en general.

El tratamiento de aguas residuales se ha convertido en una prioridad dentro de las agendas políticas en México. En el sexenio 2000–2006 se lograron avances importantes al incrementar el porcentaje de agua residual tratada del 23% al 36.1%.

En este mismo sentido, de acuerdo a los objetivos planteados en el PNH 2007–2012, el caudal de aguas residuales tratado se incrementó en 10.4%, llegando a un 46.5%, con lo que se logró duplicar la cobertura del año 2000 al 2011.

La evolución del caudal tratado anualmente se muestra a continuación:

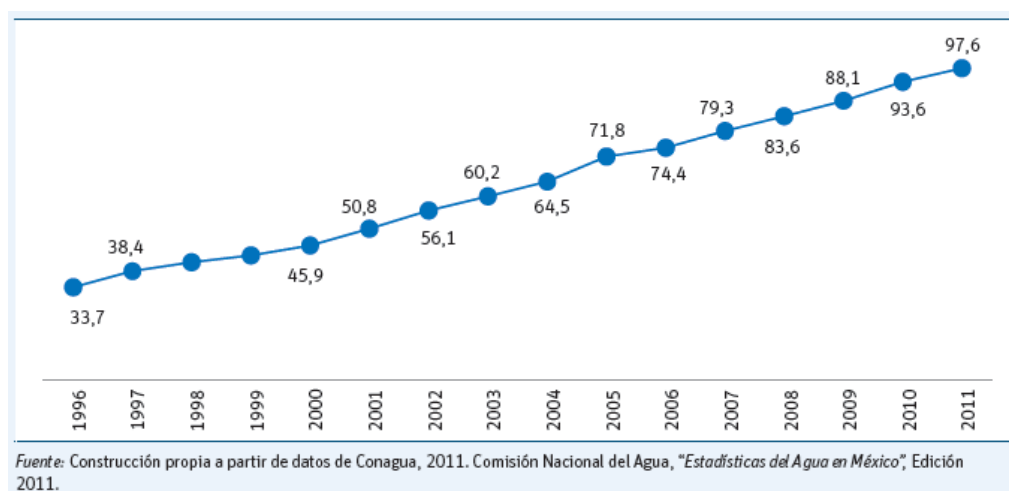


ILUSTRACIÓN 1 CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES TRATADAS (M3/S).

(BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO - SECTOR DE INFRAESTRUCTURA Y MEDIO AMBIENTE, 2013)

Bajo un panorama global, se puede afirmar que las metas establecidas por el Gobierno de México en materia de tratamiento de aguas residuales, han estado muy cercanas a cumplirse año tras año, en parte por el bajo incremento que ha habido en los volúmenes colectados en las redes de alcantarillado municipales y a la entrada en operación de nuevas plantas de tratamiento. A diciembre de 2011,

En México existe un rezago agudo en materia de saneamiento de aguas residuales. Esto es más evidente en la Ciudad de México, esta es la ciudad que menos trata el agua que usa, aproximadamente es del 6% del agua que se utiliza en esta ciudad, mientras que el porcentaje del país en tratamiento de aguas residuales es del 32% (CONAGUA, 2011). La planta de tratamiento Atotonilco, se convierte en uno de los proyectos estratégicos del Gobierno Federal establecidos en el Programa de Sustentabilidad Hídrica, de la Cuenca del Valle de México que cuenta entre sus objetivos el tratamiento del cien por ciento de las aguas residuales de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

En noviembre del año 2007 el gobierno de la republica anuncio el programa de sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México, que entre sus objetivos se presenta el tratamiento del 100% de las aguas residuales del Valle de México mediante la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales para tal fin, dentro de este programa la mayor de todas será la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco que tendrá una capacidad nominal de 23.0m<sup>3</sup>/s, con una capacidad adicional para manejar los gastos de aguas pluviales que se mezclan con las aguas residuales por 12.0m<sup>3</sup>/s, con esto se pretende dar un proceso adecuado a las aguas del valle de México aportando el 60% de tratamiento total requerido para cumplir con los objetivos del programa de gobierno.

A continuación se presenta una tabla resumen de la infraestructura que en su conjunto serán elementos importantes para cubrir los objetivos en materia de saneamiento y control de inundaciones para el Valle de México, con lo cual se pretende cubrir al 100% el programa de sustentabilidad hídrica de la cuenca del valle de México.

<b>Nombre de la estructura</b>	<b>Tipo de estructura</b>	<b>Datos técnicos</b>
<b>Túnel Emisor Oriente</b>	Sistema de drenaje	Longitud: 62 Km Diámetro: 7 m Gasto: 150m <sup>3</sup> /s
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco</b>	Tratamiento de aguas residuales	Tratamiento convencional: 23m <sup>3</sup> /s Tratamiento químico: 12m <sup>3</sup> /s
<b>Planta de Bombeo El Caracol</b>	Planta de bombeo	Volumen a derivar: 40m <sup>3</sup> /s Elevación del agua: 50m
<b>Planta de Bombeo La Caldera</b>	Planta de bombeo	Volumen a derivar: 40m <sup>3</sup> /s Elevación del agua: 30 m
<b>Túnel Rio de la Compañía</b>	Sistema de drenaje	Longitud: 6.7 Km Diámetro: 5 m Gasto: 40 m <sup>3</sup> /s
<b>Ducto de Estiaje</b>	Sistema de drenaje	Longitud: 6 Km Ancho: 3.5 m Alto: 3 m Gasto: 6 m <sup>3</sup> /s
<b>Planta de Bombeo Casa Colorada Profunda</b>	Planta de bombeo	Volumen a derivar: 40 m <sup>3</sup> /s
<b>Planta de tratamiento de aguas residuales El Caracol</b>	Tratamiento de aguas residuales	Tratamiento inicial: 2 m <sup>3</sup> /s Tratamiento en segunda etapa: 2 m <sup>3</sup> /s

TABLA 1 ESTRUCTURAS DEL PROGRAMA DE SUSTENTABILIDAD HÍDRICA DEL VALLE DE MÉXICO  
(CONAGUA, COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2010)

A continuación se presenta una ilustración extraída del documento: "Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación Diciembre de 2011", (CONAGUA, 2011) en donde se muestran las cantidades y tipos de procesos de las plantas de tratamiento dentro del territorio nacional, observando los diferentes tipos de procesos y cuál de estos es el más ocupado dentro de la nación.

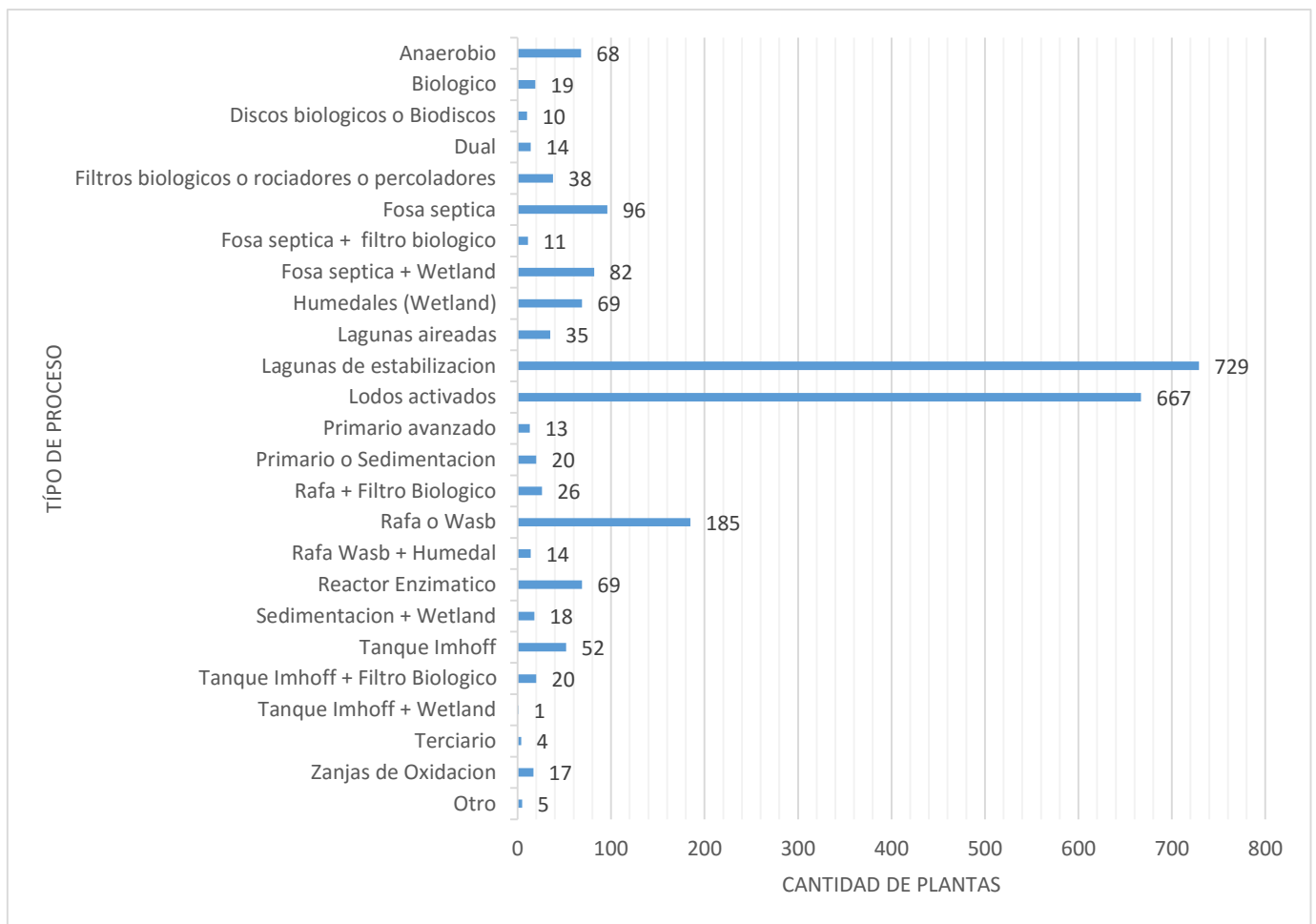


ILUSTRACIÓN 2 CANTIDAD Y TIPO DE PROCESO EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO.

(COMISION NACIONAL DEL AGUA, 2011)

De lo anterior se puede observar que existen dos tratamientos a los cuales se le ha puesto mayor atención que son: lagunas de estabilización y el de lodos activados, donde este segundo lo encontraremos presente en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco combinado con otros procesos químicos, biológicos, anaerobios y de sedimentación para un mejor funcionamiento de la planta

### 3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

En el municipio de Atotonilco de Tula en el estado de Hidalgo se construye la planta de tratamiento más grande del país, la cual contará con capacidad para tratar un gasto nominal de 35 m<sup>3</sup>/s, tomando en cuenta que de esto serán considerados 23 metros cúbicos para un proceso convencional y un módulo

adicional para tratar 12 metros cúbicos por proceso físico-químico en épocas de lluvias principalmente que es cuando se concentrará una mayor descarga proveniente del Valle de México.

Se ha ubicado dentro de un punto estratégico de descarga donde actualmente se desalojan las aguas conducidas por medio del sistema de drenaje profundo y que es la principal línea de desalojo de la Ciudad de México, al mismo tiempo se tiene en proceso la construcción del Túnel Emisor Oriente, con el cual el sistema en conjunto tendrán capacidad para desalojo de manera simultánea o en forma independiente de las aguas negras, así de este modo todo el conjunto de tratamiento se presenta como el mayor reto del gobierno para el tratamiento y disposición de las aguas negras en la ZMVM, a continuación presentamos una imagen donde se sombrea el polígono definitivo donde se construirá la planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco.



ILUSTRACIÓN 3 UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ATOTONILCO

*(CONAGUA, COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2010)*

La planta de tratamiento de aguas residuales será la más grande del país, y se construye en el municipio de Atotonilco de Tula, Hidalgo, en un predio de 158 has del ejido de Conejos. Tendrá capacidad para tratar 23 metros cúbicos por segundo durante el estiaje (mediante proceso convencional) y un módulo adicional (mediante proceso físico-químico) para tratar 12 metros cúbicos por segundo en época de lluvias. Esta obra será de gran beneficio para los hidalguenses, ya que mejorará las condiciones sanitarias de la población y permitirá utilizar agua tratada en la agricultura (conservando los nutrientes de las aguas residuales pero eliminando los contaminantes), además de facilitar la tecnificación de los sistemas de riego

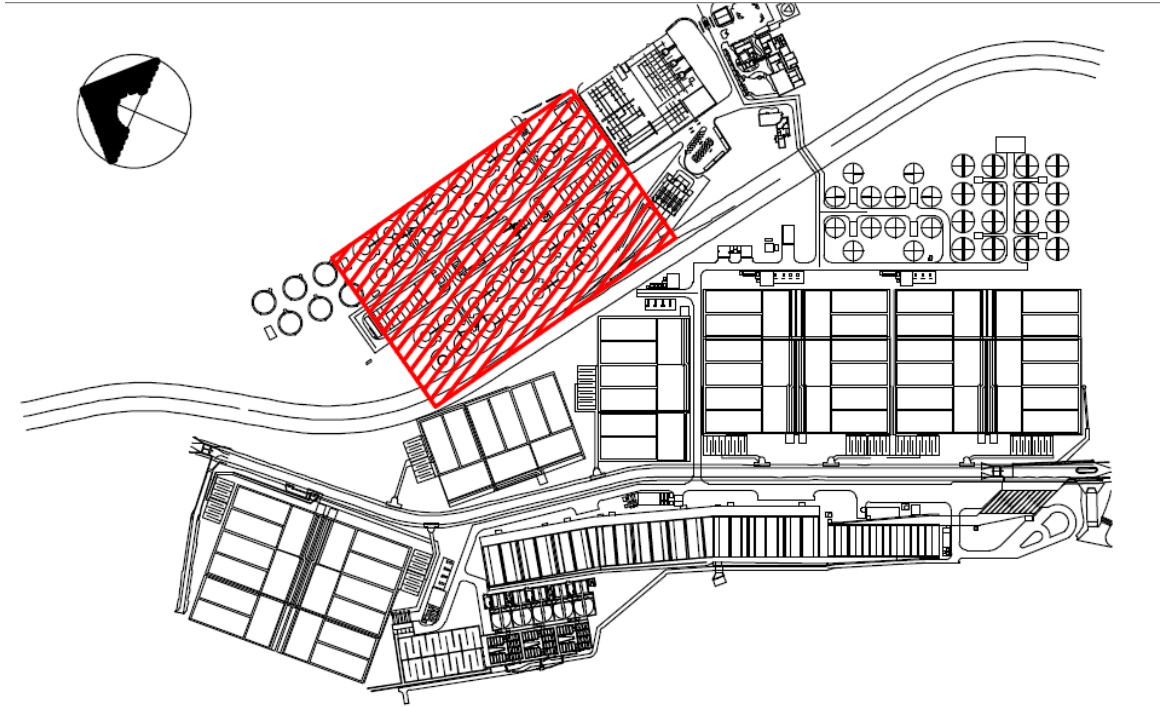
y la producción de cultivos de mayor valor agregado. La localización de esta planta obedece a que las aguas negras del Valle de México descargan en el municipio de Atotonilco de Tula, donde también comienzan los distritos de riego de la región, por lo que será posible el aprovechamiento de las aguas tratadas que actualmente son utilizadas en la agricultura sin ningún proceso de limpieza. (CONAGUA, Comisión Nacional del Agua, 2011).

En la ilustración 2 se muestra una toma aérea del avance físico que se tenía al mes de octubre de 2013 en donde se puede ver que la construcción de las estructuras críticas se ha completado satisfactoriamente y que la zona de los digestores se cuenta con los tanques hasta con su recubrimiento de aislante térmico.



ILUSTRACIÓN 4 AVANCE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ATOTONILCO  
AL MES DE OCTUBRE DEL AÑO 2013





CROQUIS DE LOCALIZACION (ESC. 1:10,000)

ILUSTRACIÓN 5 CROQUIS DE UBICACIÓN DEL ÁREA 800 DENTRO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ATOTONILCO DE TULA

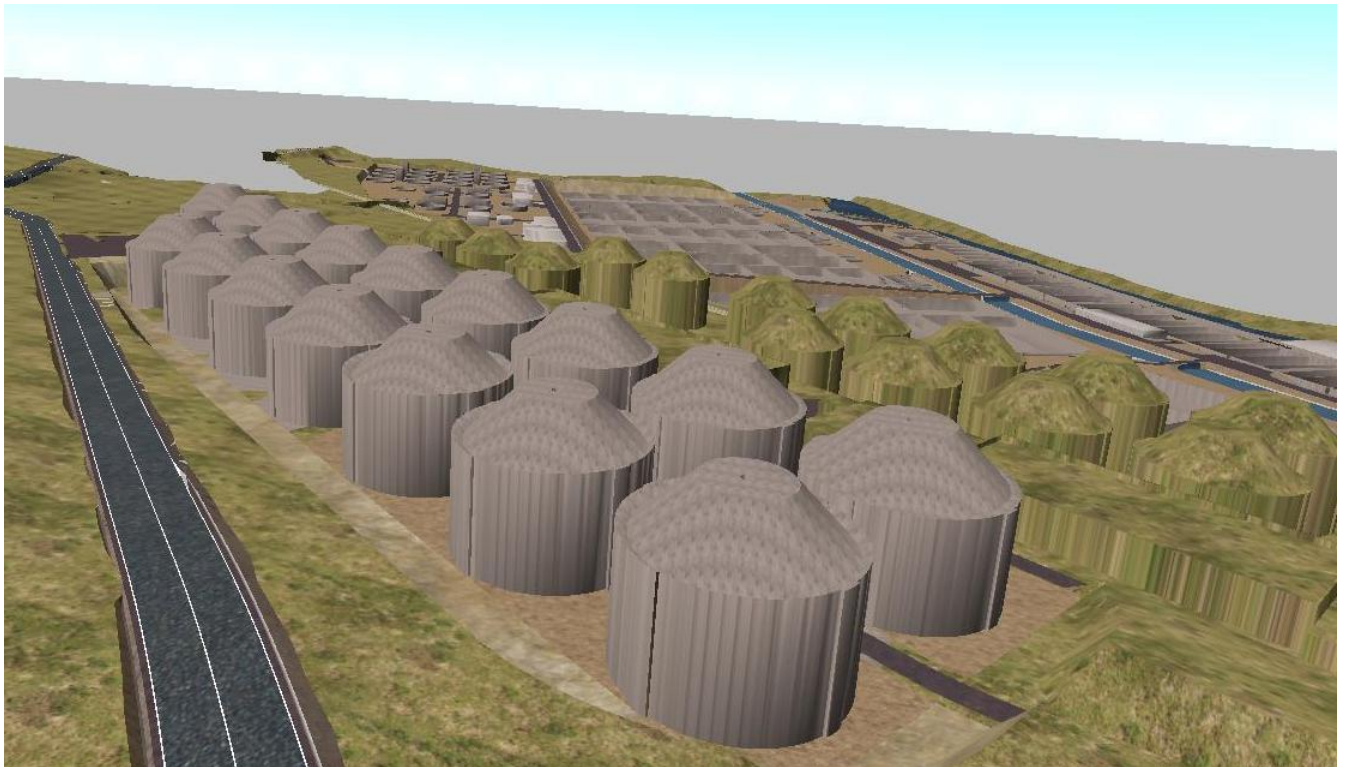


ILUSTRACIÓN 6 RENDER DE LOS TANQUES DIGESTORES

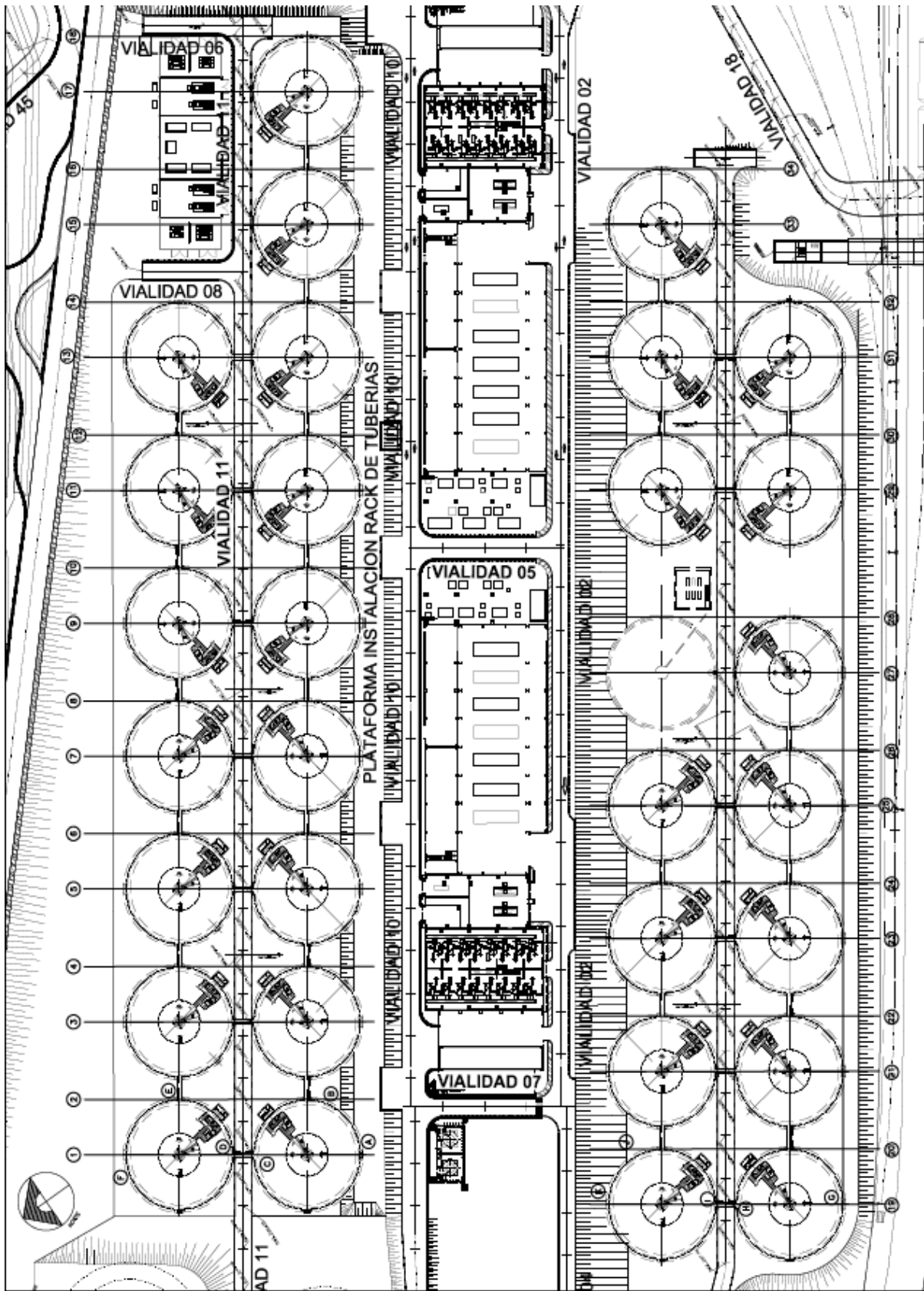


ILUSTRACIÓN 7 ARREGLO GENERAL DEL ÁREA 800

### 3.4 FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LA PLANTA

Para llevar a cabo el diseño de la planta se tomaron en cuenta la calidad y cantidad de las aguas residuales que llegan al Valle del Mezquital durante las diferentes estaciones del año, así como el uso que se le da, ya que es preocupación primordial de la CONAGUA preservar los beneficios del agua residual y evitar tanto como se pueda, sus efectos nocivos. La planta contará con dos procesos de tratamiento, de acuerdo a la cantidad y características del agua:

- El biológico: utiliza oxígeno para que las bacterias se reproduzcan y limpien el agua residual.
- El físico – químico: requiere sustancias químicas para remover los contaminantes presentes en el agua residual.

#### 3.4.1 TREN DE PROCESO BIOLÓGICO

El agua residual, que desemboca en Hidalgo a través del Túnel Emisor Central (y posteriormente la que llegue por el Túnel Emisor Oriente), se encauza hacia la planta de tratamiento y comienza su viaje a través de diversas etapas:

1. Rejillas: atrapan los sólidos de gran tamaño a medida que intentan pasar.
2. Desarenadores: extraen las partículas que se depositan rápidamente en el fondo de los tanques como grava y arena.
3. Tanques de sedimentación: permite separar las partículas pesadas que se depositan en el fondo a medida que el agua ingresa.
4. Aireación: consiste en inyectar oxígeno al tanque para que las bacterias y otros microorganismos transformen los contaminantes en compuestos inofensivos.
5. Desinfección: es la etapa final del tratamiento, se utiliza cloro para eliminar a los microorganismos que provocan las enfermedades.

El agua tratada se envía a los canales de riego y el excedente desemboca en la presa Endhó. Los lodos que se obtienen durante el tratamiento también son sometidos a un proceso de acondicionamiento para posteriormente disponerlos de manera segura en el monorrelleno de la planta.

### 3.4.2 TREN DE PROCESO FÍSICO – QUÍMICO

En temporada de lluvias, cuando aumenta la cantidad de agua residual que llega al Valle del Mezquital, operará un módulo adicional de tratamiento de 12 mil litros por segundo. El procedimiento es similar al que se lleva a cabo en los primeros tres pasos del tren biológico, solo que en este caso, luego de la sedimentación, se añaden sustancias químicas al agua para acelerar el depósito del material orgánico en el fondo del tanque para posteriormente eliminarlo en forma de lodo. El agua queda lista para desinfección.

### 3.4.3 TRATAMIENTO DE LODOS Y GENERACIÓN DE ENERGÍA

Los lodos también reciben un proceso de tratamiento para poder regresarlos sin peligro al entorno:

1. **Espesamiento:** consiste en eliminar el lodo del agua por efecto de gravedad o por flotación.
2. **Digestores:** son grandes tanques donde los microbios descomponen la materia orgánica y generan dióxido de carbono y gas metano.
3. **Deshidratación:** es un proceso mecánico que elimina el agua de los lodos y, de una condición líquida. Se transforman a una condición sólida, no muy distinta a la del barro común.
4. Finalmente los lodos resultantes se depositan en el monorrelleno, espacio suficientemente grande para recibir estos desechos. Con el paso de los años, pierden el resto del agua y pasan por un proceso adicional de sedimentación.

En los lodos se acumulan algunos de los nutrientes removidos de la corriente líquida, por lo que pueden utilizarse para la restauración de suelos que se han vuelto improductivos. La CONAGUA, conforme a lo que disponga la legislación aplicable, establecerá los mecanismos necesarios para que los lodos tratados puedan ser reutilizados por diversos sectores de la población que requieran para sus actividades productivas.

### 3.4.4 GENERACIÓN DE BIOGÁS PARA PRODUCIR ENERGÍA

En el proceso de digestión de lodos, se obtienen elementos como oxígeno, nitrógeno, azufre, monóxido de carbono, dióxido de carbono y metano, que son almacenados en grandes globos llamados gasómetros.

Estos gases se separan para mantener únicamente el metano que se envía a la máquina de cogeneración donde se quema para producir calor, dióxido de oxígeno y agua.

El vapor de agua hace funcionar las turbinas conectadas a un generador que provoca un campo magnético para producir electricidad. Con este proceso se alcanzará una autonomía cercana al 60% de la energía que la planta necesita. La planta contará con una línea externa de alimentación de la red pública, más múltiples unidades de generación de emergencia para suministrar la energía complementaria.

Ante un panorama de creciente escasez de fuentes convencionales de energía eléctrica y creciente controversia sobre la seguridad de otras fuentes no convencionales, el aprovechamiento del biogás se vuelve una alternativa cada día más apreciada. Desde su concepción, la planta de Atotonilco fue pensada como una instalación que buscaría aprovechar tanto biogás como fuese posible, y ya se encuentran en estudio alternativas de acondicionamiento de los lodos que permitan incrementar aún más la producción de biogás.

### 3.5 DATOS ECONÓMICOS

El presente proyecto de tratamiento tendrá gran impacto local y regional para la generación de empleos de manera directa e indirecta, presentando tablas resumen del alcance del proyecto.

#### Datos económicos

Inversión total	10,022	M\$(1)
Aportación a fondo perdido del FONADIN: 45.89%	4,599	M\$
Inversión privada: 54.11% (2069 capital ; 3342 crédito)	5,423	M\$
Volumen tratado (Promedio)	33.07	m <sup>3</sup> /s(2)
	1,043	Mm <sup>3</sup> /año
Costo del agua tratada	1.0182	\$/m <sup>3</sup>
Periodo del contrato (3 construcción y 22 de operación)	25	años
Tasa real del financiamiento (capital de riesgo y crédito)	9.02%	anual

(1) 9,389 millones de costo directo ("costo del proyecto") mas 633 de otros (supervisión, etc.)

(2) Calculo a partir de un caudal promedio mensual de 86.91 millones de metros cúbicos. (33.07 m<sup>3</sup>/s de tratamiento convencional y químico), a razón de 30.42 días por mes del año.

TABLA 1 DATOS ECONÓMICOS (CONAGUA, COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2011)

De lo anterior se tiene que la inversión resultar se la mayor aportación al desarrollo de infraestructura en el país por consiguiente representa ser la mejor apuesta al cambio en el manejo de las aguas residuales del Valle de México. A continuación se presentan los datos técnicos de la oferta que resultó ser la ganadora en el proceso de licitación internacional:

### 3.6 DATOS TÉCNICOS

#### Datos técnicos

Gasto medio del tren de proceso convencional (TPC) (Nominal: 23)	25	m <sup>3</sup> /s
	65	Mm <sup>3</sup> /mes
Gasto medio del tren de proceso químico (TPQ) (Nominal: 12)	8	m <sup>3</sup> /s
	21	Mm <sup>3</sup> /s
Gasto medio total	33	m <sup>3</sup> /s
	98	Mm <sup>3</sup> /mes
Gasto máximo	50	m <sup>3</sup> /s
Consumo de cloro	4,800	t/año
Sistema de control de olores en toda la planta		
Coliformes de entrada	50,000,000	Por cada 100ml
Coliformes de salida	1,000	Por cada 100ml
Área bajo riego	88,000	ha
Población del valle de Tula	700,000	habitantes
Población directamente ligada a la agricultura	300,000	habitantes
Producción de lodos	2,297	t/día peso húmedo
	838,405	t/año peso húmedo
Desaguado al 28%, es decir 28% de lodo y 72% de agua. Base seca: 643 t/día.	2,090	m <sup>3</sup> /día
	762,850	m <sup>3</sup> /año
Área de la planta	159	ha
Potencia de servicio para operación de la planta	25	Mw
	20	Mw
Potencia de servicio de cogeneración	80%	De la demanda

TABLA 2 DATOS TÉCNICOS (CONAGUA, COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2011)

El agua tratada tendrá dos destinos: el Canal Salto Tlamaco para riego agrícola y el Río El Salto de cuyo cauce se derivan algunos canales de riego, en particular el Canal Viejo Requena, que descarga sus gastos excedentes en la presa Endhó. Con el procesamiento de las aguas sucias se beneficiará a 700 mil personas del Valle del Mezquital, de las cuales 300 mil habitan en zonas de riego. Además, durante la construcción se generarán 8, 880 empleos directos y 7, 820 indirectos.

### 3.7 NORMATIVIDAD APLICABLE AL PROYECTO

**Norma Oficial Mexicana NOM-001-Semarnat-1996**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas o bienes nacionales. Publicada el 6 de enero de 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-002-Semarnat-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Publicada el 3 de junio de 1998.

**Norma Oficial Mexicana NOM-003-Semarnat-1997**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios públicos. Publicada el 21 de septiembre de 1998.

**Norma Oficial Mexicana NOM-004-Semarnat-2001**, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final. Publicada el 15 de agosto de 2003.

- ✓ Tolerancia para estructuras de concreto, ACI 117, sección 7
- ✓ Colocación de concreto, ACI 301, sección 5
- ✓ Código de construcción Silos de Concreto Presforsado, ACI 313
- ✓ Código de construcción para estructuras de concreto, ACI 318
- ✓ Colocación de cimbra, ACI 347
- ✓ Curado de concreto, ACI 308
- ✓ Detalles acero de refuerzo, ACI 315
- ✓ Acero y concreto, ASTM y NOM

### 3.8 GEOTECNIA DE LAS PLATAFORMAS 20 Y 22

Es de gran importancia el contar con los elementos previos a la construcción, uno de los componentes fundamentales es obtener las características particulares del terreno de donde serán desplantados los tanques, ya que por ser estructuras de gran envergadura y que en su mayor parte de su vida útil se mantendrán con material a su interior, se debe conocer de manera detallada el tipo de suelo y el comportamiento que se tendrá al ya construidos los elementos, conociendo que uno de los principales factores a considerar por las condiciones de trabajo donde los digestores permanecerán en parte sumergidos y en otra parte expuestos se debe considerar el nivel de aguas freático que presentan las plataformas 20 y 22 dentro del área 800 de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco.





De la ilustración 8 se puede observar que se tienen 2 capas predominantes donde se desplantara la cimentación de los tanques digestores, en primer lugar y por condiciones del terreno natural representado por la línea superior en donde predominan la tierra vegetal y vegetación menor, después se puede observar por la gráfica una capa de mayor magnitud que representa los depósitos lacustres y en los sondeos también se presentó la formación de depósitos menores de pequeños boleos y bancos menores de lutitas en cuanto a las muestras más profundas, en los puntos de control se tiene registros de los piezómetros identificando de manera puntual la presencia de aguas en ambas plataformas, cabe mencionar que lo anterior es una interpretación de la geotecnia y que de manera formal se conocen solo las particularidades del terreno en los puntos de muestreo, más sin embargo son muy recomendables para su uso dentro del desarrollo del proyecto y teniendo en cuenta que la mejor observación será la que se tenga en campo durante el proceso constructivo.

El nivel freático de los sondeos y pozos de observación consultados incluidos en el Estudio Geotécnico para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, PTAR en Atotonilco, redactado por GEOTEC S. A. DE C. V., en la zona donde están proyectados los digestores se muestra en la siguiente tabla.

	<b>Cota del nivel freático (msnm)</b>	<b>Nivel Fondo Terminado (msnm)</b>
Plataforma 20	2126.38	2116.20
Plataforma 22	2139.00	2132.20

TABLA 3 NIVEL FREÁTICO EN LAS PLATAFORMAS 20 Y 22

El valor del nivel freático está medido desde la realización de los sondeos, a principios de agosto del 2010 hasta mediados de octubre de 2010. En la ilustración 9 se muestran las isolíneas obtenidas del análisis de los datos de la campaña de GEOTEC, S. A. DE C. V., así como los puntos de reconocimientos utilizados como representativos. Se ha utilizado el valor representativo de cada uno de los puntos de reconocimientos, que corresponde al valor estabilizado dentro del periodo de lectura, y que se considera representativo para el resto de los meses del año al extenderse la estación húmeda en la zona entre los meses de mayo y octubre. Los datos que aparecen en rojo dentro de la imagen siguiente corresponden a lecturas realizadas que no se consideran representativas al aparecer el punto de reconocimiento seco.

En la ilustración 9 se observa que la cota del nivel freático puede variar significativamente en función de la situación dentro de la misma área 0800, debido a su gran extensión y a los fuertes gradientes observados en la superficie del nivel freático.

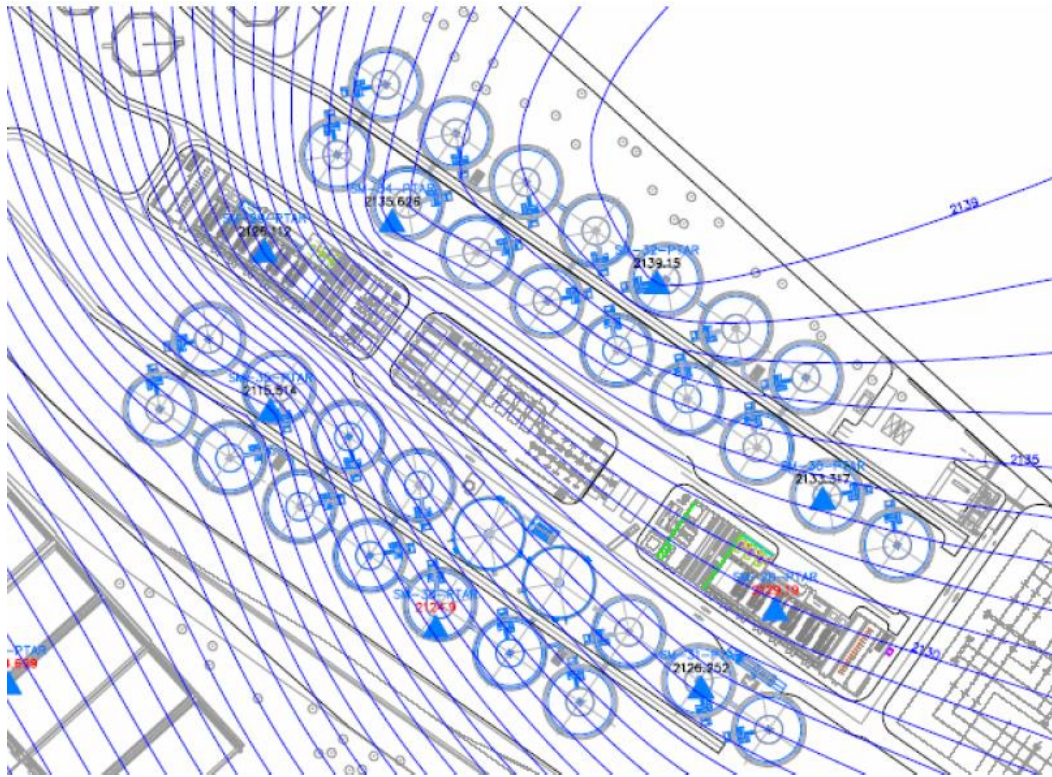


ILUSTRACIÓN 9 COTA DEL NIVEL FREÁTICO REPRESENTATIVA MEDIDA EN EL ÁREA 0800.

En la ilustración 9 se puede ver que en ambas plataformas hay algún digester en el que se producirá subpresión. Para limitar la subpresión máxima sobre los digestores y cumplir con los requisitos de factor de seguridad frente a la flotación, se procederá con la instalación un sistema de drenaje desde la superficie de la urbanización y hasta la parte superior de la forma troncocónica, de forma que la subpresión máxima en la parte inferior de la cimentación del digester quede limitada a 6m de columna de agua, consecuentemente, se podrá tener un supuesto en el cálculo para los digestores teniendo en cuenta una subpresión de hasta 6 m de columna de agua.

El control del nivel de agua freática se efectuará mediante un sistema de zanjas dren para lograr que por arriba el desplante de la zapata circular de apoyo del cilindro no se tenga el efecto de la subpresión. Dada la fisuración que caracteriza los materiales de desplante de los digestores, la subpresión en la losa de fondo (cono truncado) se presentará en toda el área de contacto, de acuerdo a su profundidad.

Para esquematizar las dimensiones y la forma general del digestor, se presenta un corte vertical del elemento para tomar en cuenta este es un esquema tipo de los 30 digestores que se tendrán dentro del área 800.

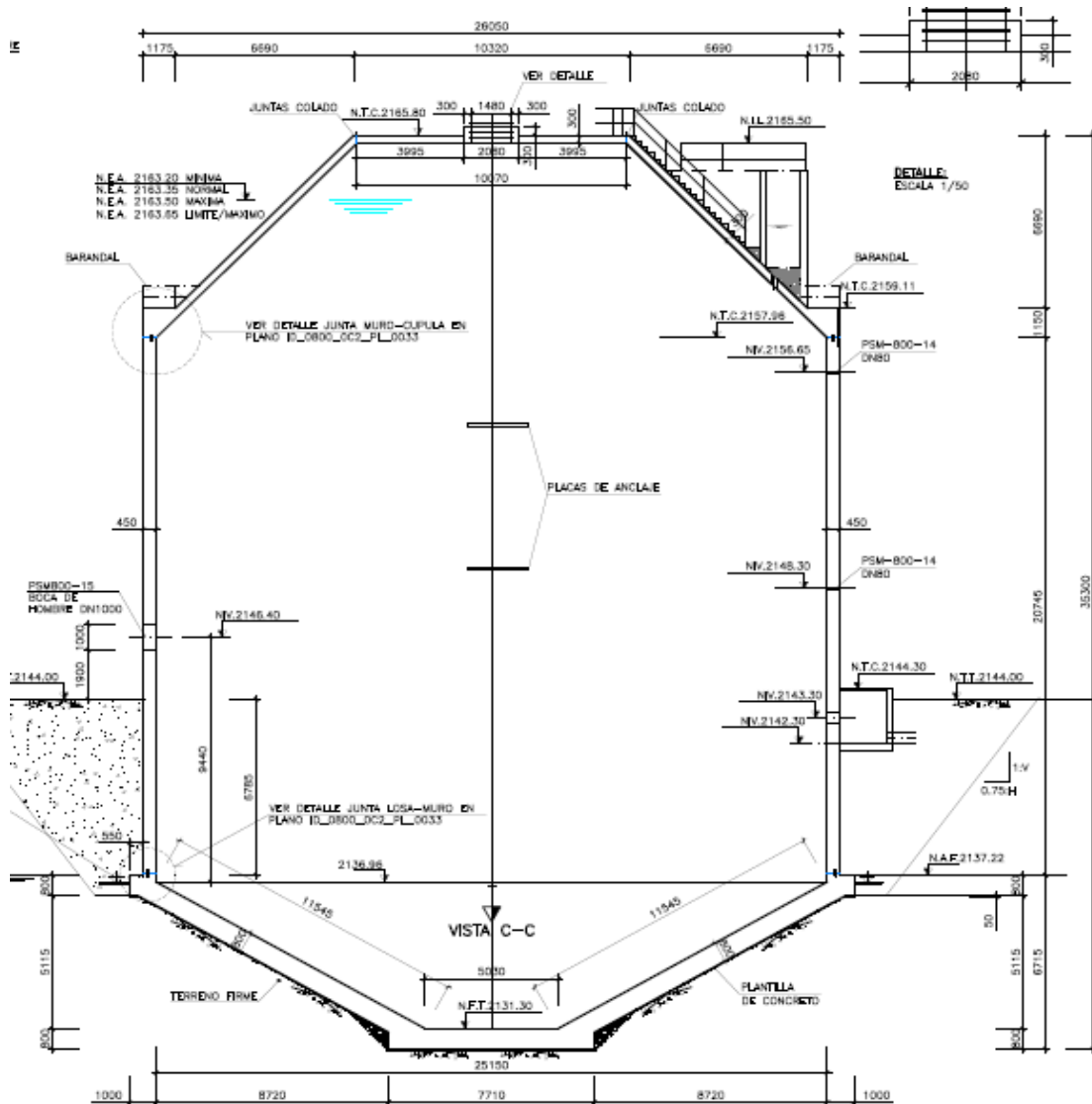


ILUSTRACIÓN 10 CORTE VERTICAL DE DIGESTOR TIPO

En la ilustración 11 se muestra de forma esquemática la red de zanjas dren diseñado en el área 0800, junto con un croquis de la zanja dren al lado de los digestores, derivado de las recomendaciones para un desalojo eficiente de las aguas pluviales en donde el fenómeno de la subpresión en la cimentación se podría llegar a presentar.

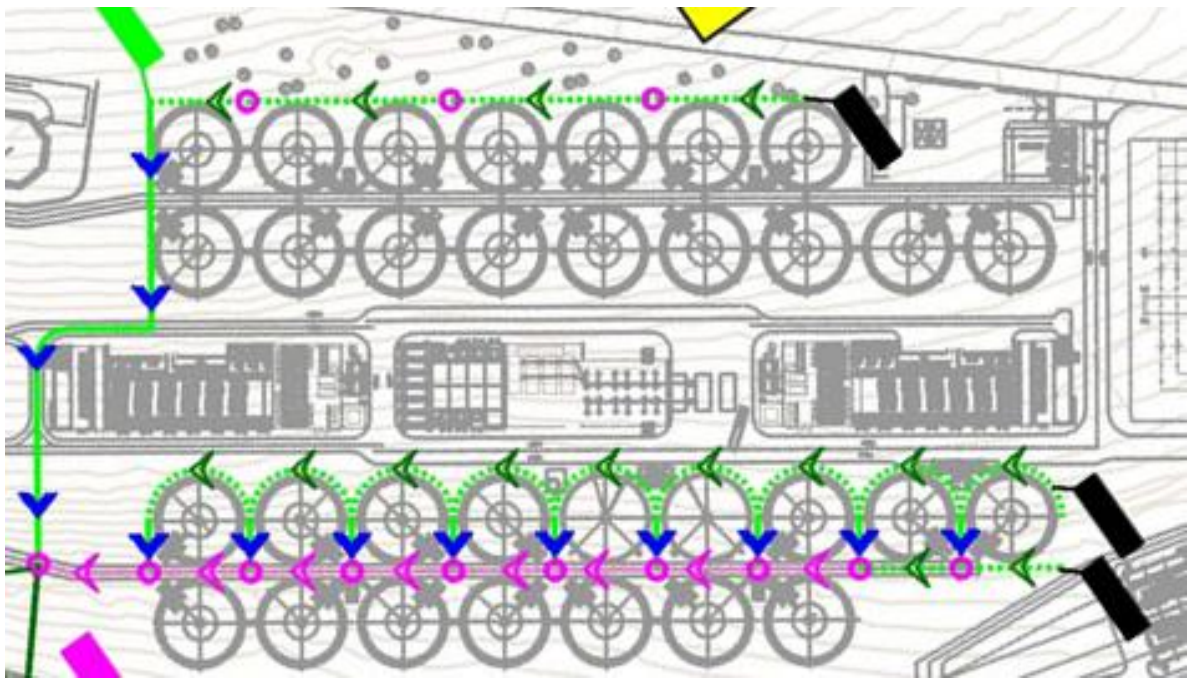


ILUSTRACIÓN 1 1 ESQUEMA DE LA RED DE ZANJAS DREN EN EL ÁREA O800

### 3.8.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Se muestran las condiciones del terreno obtenidas del estudio de mecánica de suelos desarrollada por la compañía GEOTEC, S.A. DE C.V., donde se tiene la relación de los muestreos más representativos que afectan al área 800 dentro de la PTAR Atotonilco: SM-28-PTAR, SM-29-PTAR, SM-30-PTAR, SM-31-PTAR, SM-32-PTAR, SM-33-PTAR, SM-34-PTAR, SM-35-PTAR, SM-36-PTAR, SM-37-PTAR y SM-38-PTAR.

#### Parámetros de cálculo obtenidos por el estudio de GEOTEC, S.A. DE C.V:

Unidad	Descripción	E para estructuras de ancho $B \leq 10$	E para estructuras de ancho $B > 10$	Parámetros		$\gamma$	V
		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	C	$\phi$		
Tpla	Depósitos tobáceos	60000	120000	250	-	17	0.4
Tpla	Depósitos lacustres	60000	120000	100	14	17	0.4

TABLA 4 RESUMEN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS PROPORCIONADOS POR

GEOTEC, S.A. DE C.V.

Los depósitos tobáceos corresponden a arcilla arenosa café claro duro y los lacustres a arcilla verde dura. Para posibles zonas de relleno, el material de relleno procedente de la propia obra (arcilla café claro) deberá ser compactado al 95% en base a Próctor estándar, y se deberá comprobar en obra que cumple

como mínimo con las características resistentes considerados: cohesión de 76 kPa, ángulo de fricción de 21° y un peso volumétrico de 18 kN/m<sup>3</sup>.

Con base en la ilustración 8 donde se exponen los perfiles geológicos que se tienen dentro de las plataformas 20 y 22 respectivamente, todos los digestores se apoyan principalmente sobre depósitos lacustres.

Tal y como se indica en el reporte del Estudio Geotécnico. Área1, realizado por GEOTEC, S. A. DE C. V., se calculó la carga admisible con un factor de seguridad igual a 3 para la acción combinada de cargas unitarias muertas más viva de máxima intensidad, y un factor de seguridad igual a 2 para la acción combinada de estas cargas con accidentales (sismo). Las capacidades de carga general para el diseño en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco proporcionados por GEOTEC, S. A. DE C. V., es de 200 kN/m<sup>2</sup> sin sismo y de 300 kN/m<sup>2</sup> con sismo.

Debido a las características de los digestores y su funcionamiento, la compresión media en servicio que transmiten cada uno de ellos sobre el subsuelo es del orden de 28t/m<sup>2</sup> (275 kN/m<sup>2</sup>). En situaciones accidentales, la compresión que transmiten sobre el subsuelo es del orden de 42t/m<sup>2</sup> (420 kN/m<sup>2</sup>).

Dado que la carga admisible dada por GEOTEC, S. A. DE C. V., corresponde a la carga admisible general para todo el ámbito de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco, y debido a las altas cargas transmitidas por los digestores, se ha analizado con mayor detalle la carga admisible de los depósitos lacustres en la zona donde se proyectan los digestores.

Otro de los elementos a considerar es el de los hundimientos del terreno derivado del uso y el peso a través de tiempo por los asentamientos que se podrían presentar en la zona de los digestores además de que tenemos restricciones para limitar la magnitud de los desplazamientos de cada estructura por lo que se ha calculado el hundimiento bajo un digestor teniendo en cuenta tanto las propiedades de los materiales, la geometría y las dimensiones de los digestores, como el hundimiento adicional que producirían los digestores cercanos. También se ha analizado los hundimientos diferenciales entre digestores debido a la interacción de unos con los otros y los hundimientos diferenciales entre dos digestores contiguos cimentados sobre materiales distintos.

Debido a las características de los digestores y su funcionamiento, la compresión media en servicio que transmite cada uno de ellos sobre el subsuelo es del orden de 28t/m<sup>2</sup> (≈275 kN/m<sup>2</sup>). Dentro de este análisis se ha considerado una compresión media vertical de 35 t/m<sup>2</sup> (≈343 kN/m<sup>2</sup>), algo superior a la carga en servicio estimada 28t/m<sup>2</sup> (275 kN/m<sup>2</sup>) e inferior a la carga admisible (4 kg/cm<sup>2</sup>) (392 kPa). En el informe de GEOTEC, S. A. DE C. V., se indica que el módulo de deformación del subsuelo es de 60 MPa para estructuras de ancho inferior a 10 m y para estructuras con ancho superior a 10 m el módulo de

deformación es de 120 MPa, debido que a mayor profundidad existen suelos y rocas sedimentarias (como las calizas y lutitas detectadas en los sondeos SM-8, 10, 21, 22, 32 y 35) caracterizadas por valores muy altos de módulos de deformación.

Para tener en cuenta el aumento de la calidad del subsuelo en profundidad se ha considerado un módulo de Young de 60 MPa en superficie y un módulo de Young de 120 MPa en profundidad, con un coeficiente de Poisson de 0.4. Con estas condiciones se obtiene un hundimiento máximo bajo digestores de entre 5 y 6 cm, valor que se considera aceptable para este tipo de estructuras. El cálculo se ha realizado con el programa Settle3D de Rocscience, considerando un material elástico y para un grupo de seis digestores. El programa considera cimentación flexible, por lo que el hundimiento máximo para una cimentación rígida se puede suponer un 80 % del obtenido. En la figura siguiente se muestran los resultados.

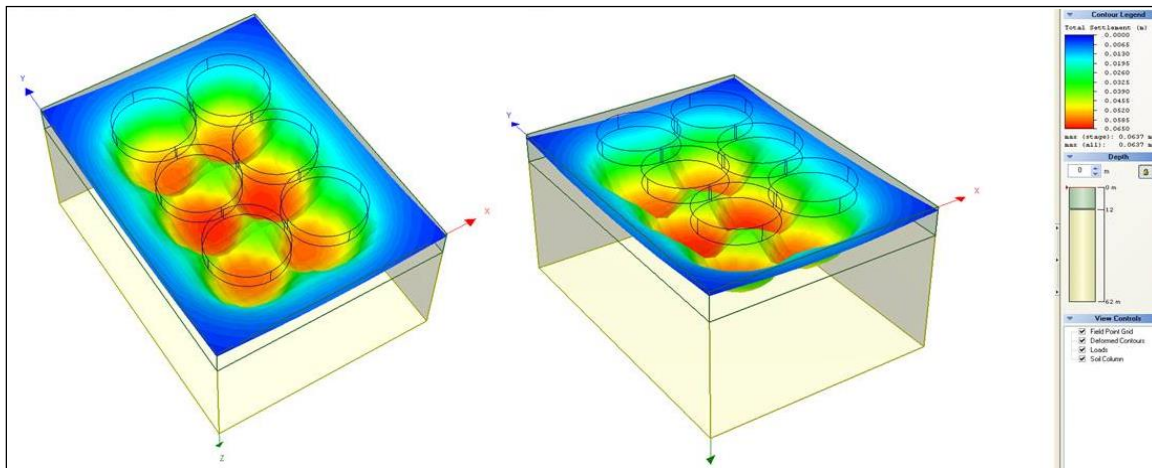


ILUSTRACIÓN 12 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE HUNDIMIENTOS POR LA EMPRESA GEOTEC, S.A. DE C.V.

Se ha hecho un análisis del incremento del hundimiento debido a cargas dinámicas. Para ello se ha calculado que el incremento de carga vertical debido al efecto de un sismo sería de 25 t/m<sup>2</sup> ( $\approx 245$  kN/m<sup>2</sup>). Para el cálculo dinámico para sismo, utilizamos el módulo de Young máximo que corresponde a una distorsión angular del orden de 0.5%, e igual a 207.0 MPa (1.7 veces el estático de 120 MPa), con lo que se obtiene un incremento del hundimiento debido a sismo del orden de 2 a 3 cm.

Finalmente, se ha analizado los hundimientos diferenciales entre digestores, por una parte debido a la interacción de unos con los otros y por otra los hundimientos diferenciales entre dos digestores contiguos cimentados sobre materiales distintos.

En primer lugar, partiendo del análisis anterior, se ha determinado el hundimiento diferencial entre digestores debido a la interacción de unos con otros, y el hundimiento diferencial máximo en un mismo

digestor. Se ha analizado los hundimientos diferenciales entre los puntos que se muestran en la figura siguiente:

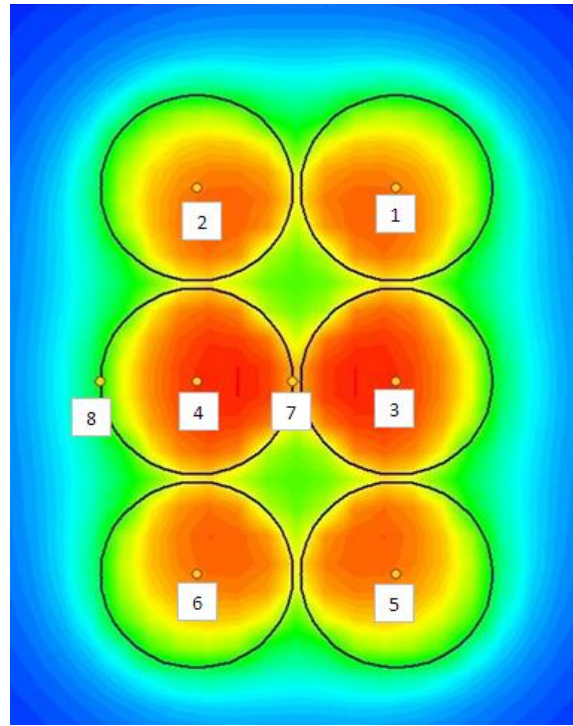


ILUSTRACIÓN 13 SITUACIÓN DE LOS PUNTOS DE COMPARACIÓN DE HUNDIMIENTOS POR GEOTEC, S.A. DE C.V.

En la siguiente tabla, se adjuntan los hundimientos diferenciales que se obtienen entre los puntos de comparación indicados:

		Hundimientos diferenciales entre puntos. (cm)					
		1	2	3	4	7	8
1	-	0.0	0.3	0.3	0.2	1.9	
2	0.0	-	0.3	0.3	0.2	1.9	
3	0.3	0.3	-	0.1	0.5	2.2	
4	0.3	0.3	0.1	-	0.5	2.3	
7	0.2	0.2	0.5	0.5	-	1.7	
8	1.9	1.9	2.2	2.3	1.7	-	

TABLA 5 HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES ENTRE PUNTOS DE COMPARACIÓN DE LOS DIGESTORES

Como puede observarse, existe simetría arriba-abajo e izquierda-derecha. El hundimiento máximo entre dos digestores (útil para diseñar instalaciones) sería de 0.3 cm, mientras que en un mismo digestor sería

de 1.7 cm. Entre los puntos 8 y 4 no se considera dado que el programa Settle supone cimentación flexible. Este caso corresponde a la situación donde todos los digestores se cimientan sobre el mismo material (caso mayoritario, dado que prácticamente todos se cimientan sobre depósitos lacustres).

En segundo lugar, se ha analizado los hundimientos diferenciales entre dos digestores contiguos cimentados sobre materiales distintos. Dado que el programa Settle sólo permite variar las propiedades del material en horizontal, se ha calculado el hundimiento de un digestor aislado con diferentes propiedades del terreno y posteriormente se ha comparado los resultados obtenidos.

	Descripción	Capa superficial		Capa profunda		Hundimiento *0.8 (cm)	Hundimiento Diferencial (cm)
		Espesor (m)	E (MPa)	Espesor (m)	E (MPa)		
Caso 1	Caso de referencia donde la calidad del terreno aumenta en profundidad.	12	60	50	120	3,8	1.2
Caso 2	Digestor cimentado directamente en roca. Correspondería por ejemplo al segundo digestor del perfil P-P' (planos del perfil geológico)	-	-	62	120	2,6	

TABLA 6 HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES ENTRE DIGESTORES CIMENTADOS SOBRE MATERIALES DISTINTOS.

Con base en los perfiles geológicos, la comparación realizada entre el caso 1 y el caso 2 corresponde a la que se obtendría una mayor variación de rigidez y por lo tanto un mayor hundimiento diferencial. A este hundimiento diferencial puede sumarse los 0.3 cm que se obtienen de la interacción entre digestores, con lo que el hundimiento diferencial máximo entre digestores debido a cambios de material teniendo en cuenta el efecto grupo sería de 1.5 cm.



Según se observa en los planos, hay perfiles tipo intermedios a los dos casos considerados anteriormente (caso 1 y 2), pero en definitiva el hundimiento diferencial máximo será para el caso más extremo, es decir  $E=120$  MPa en todo el espesor considerado.

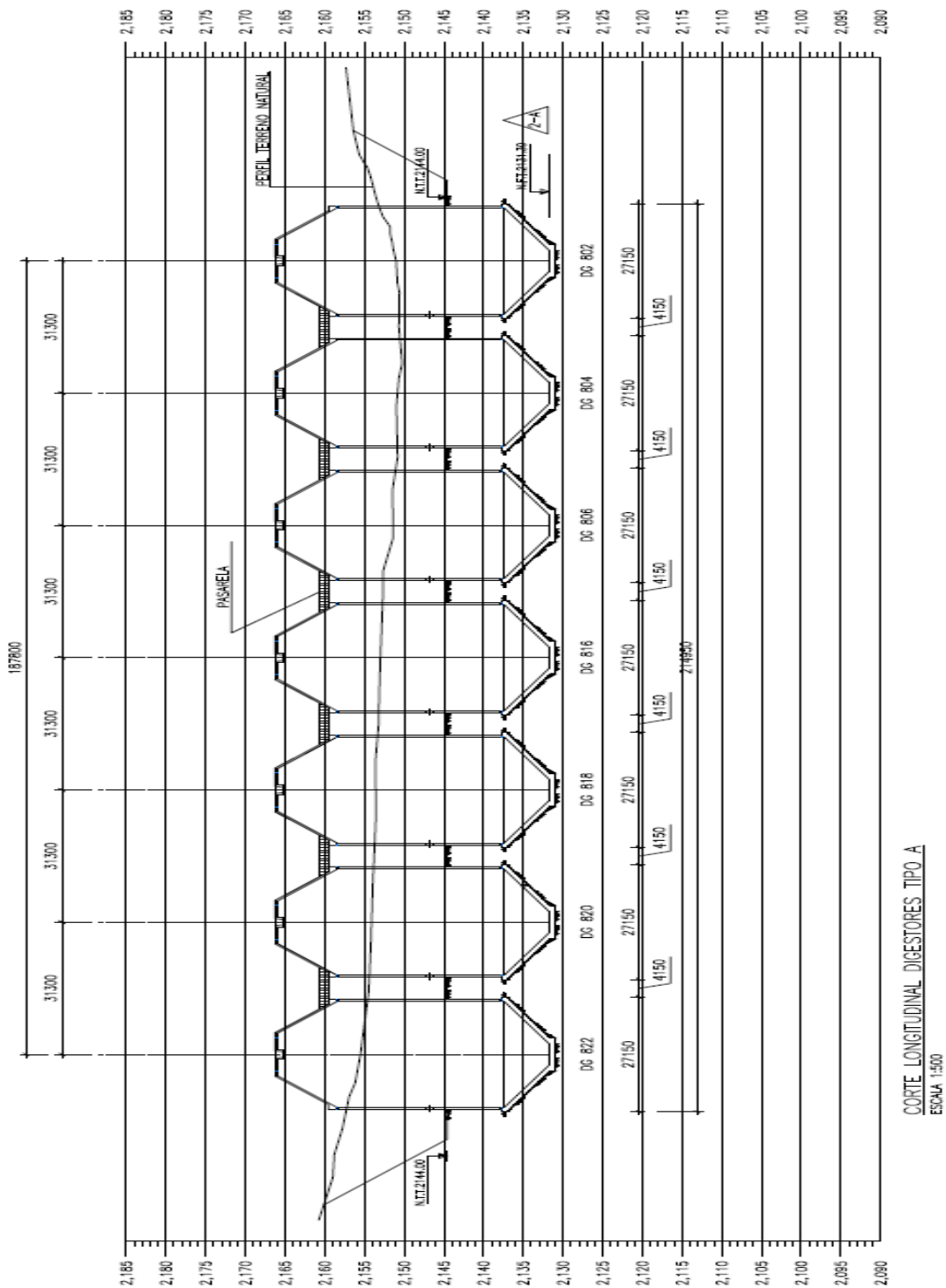
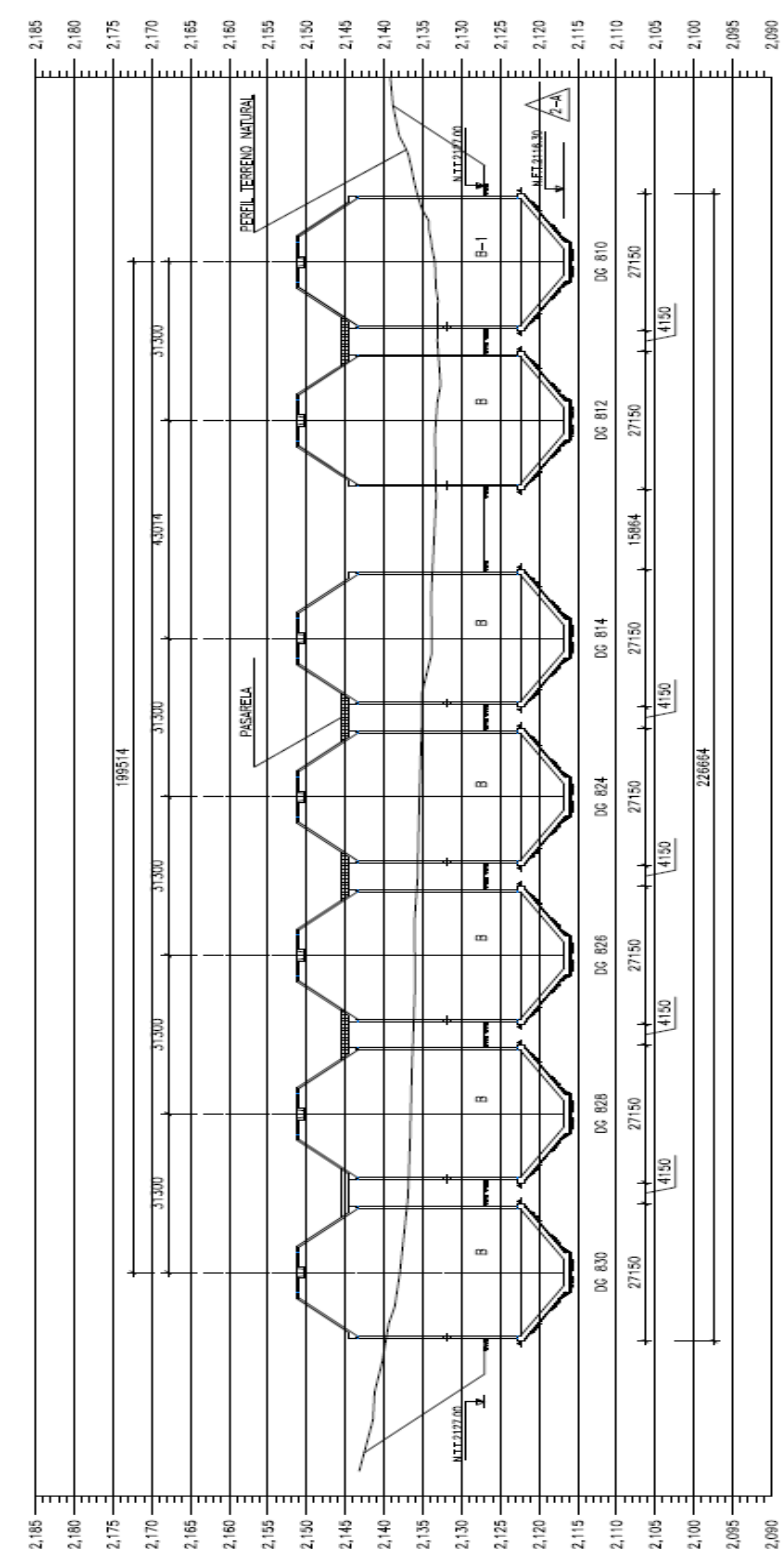


ILUSTRACIÓN 14 CORTE LONGITUDINAL DIGESTORES TIPO A



NOTA:  
VER ADICIONAL REGIONAL DE INGENIERIA

CORTE LONGITUDINAL DIGESTORES TIPO B Y B-1  
ESCALA 1:500

ILUSTRACIÓN 15 CORTE LONGITUDINAL DIGESTORES TIPO B Y B-1

De acuerdo al estudio de GEOTEC, el módulo de reacción vertical del suelo promedio para el diseño de la cimentación y la superestructura es de 61.9 kPa/m. Sin embargo, del estudio efectuado con elementos finitos, el hundimiento es del orden de 5.0 a 6.0 cm para una presión de contacto de 343kPa, por lo que el módulo de reacción vertical es de 60.8 kPa/cm, el cual se recomienda para el diseño estructural de los digestores. Para el cálculo dinámico para sismo, utilizamos el módulo de Young máximo que corresponde a una distorsión angular del orden de 0.5%, e igual a 207.0 MPa (1.7 veces el estático de 120 MPa). De lo anterior se concluye que el módulo dinámico para un hundimiento de 7 y 8 cm y una carga vertical de 588 kN/m<sup>2</sup> (60 t/m<sup>2</sup>) el módulo de reacción vertical resultante es de 8100 kPa/m.

Para determinar el módulo de reacción horizontal de los rellenos que se encuentren detrás de las paredes verticales de los digestores,  $k_h$  se ha considerado el módulo de elasticidad del relleno que se encuentra detrás del muro y se divide por la distancia en que se disipan las tensiones o compresiones.

Concretamente, se considera un módulo de elasticidad del relleno de 20 MPa (dada la dificultad de garantizar altas compactaciones de rellenos cercanos a estructuras, y debido a la presencia del sistema de drenaje que se proyectará).

Considerando una disipación de las tensiones o compresiones alrededor del digestor de hasta una distancia de 2H, siendo H=5m (espesor de relleno que se encuentra detrás del muro), se obtiene una distancia de disipación de tensiones o compresiones de 10m detrás del muro.

Entonces, el módulo de reacción horizontal de los rellenos sobre el muro de los digestores es de:

$$k_h = 20MPa / 10m = 2MN / m^3 = 2000kN / m^3$$

En la zona más próxima a los digestores, es recomendable que el relleno sea granular (donde se encontrará el drenaje en la mayoría de ellos). El resto del relleno se puede ejecutar con los materiales presentes en la obra.

## 4.- PROCESO CONSTRUCTIVO DE TANQUE BIODIGESTOR

## 4.1 CLASIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Las construcciones que componen la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco pertenecen al grupo A, de acuerdo a la clasificación del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus normas técnicas complementarias; así como, del Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, y del Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) de la CONAGUA.

- Grupo A: Edificaciones cuya falla estructural podría constituir un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, así como edificaciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana como: hospitales, escuelas, terminales de transporte , estaciones de bomberos, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, estadios, depósitos de sustancias inflamables o tóxicas, museos y edificios que alojen archivos y registros públicos de particular importancia, y otras edificaciones a juicio de la Secretaría de Obras y Servicios (Arnal Simon & Betancourt Suárez, 2011), presentado en artículo 139 del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

Las estructuras del grupo A son aquellas cuya falla puede causar un peligro significativo, así como, aquellas que contienen sustancias contaminantes que puedan causar daño en la salud de la población si se presenta una falla.

## 4.2 DESARROLLO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

### 4.2.1 PRELIMINARES

Para poder llevar a cabo la construcción de los tanques biodigestores se requiere la preparación de la zona donde se van a ejecutar los trabajos y dentro de estos se enumeran los siguientes:

- ❖ Desmantelamiento
- ❖ Demolición
- ❖ Limpieza del terreno
- ❖ Trazo y nivelación

- ❖ Excavación
- ❖ Abatimiento del nivel freático
- ❖ Acarreos dentro y fuera de la obra
- ❖ Rellenos

Dentro del primer punto de desmantelamiento dentro del área 800 no fue requerida por tener un espacio abierto y libre de obstáculos para iniciar la construcción, sin embargo dentro del proyecto sí se presentaron elementos que para llevar a cabo obras complementarias por ejemplo para hacer el paso de la galería de tuberías y servicios, se realizó un desvío de vías de ferrocarril y hacer un puente de paso para darle continuidad al paso del tren de manera que no se interrumpa el tránsito de mercancías, también se presentó movimiento de torres de transmisión eléctrica, en específico se reubicaron 3 torres, las cuales interrumpían las plataformas 300 y la zona del monorrelleno, también se presentó el cambio de trayectoria de una línea de abastecimiento de agua potable.

Dentro de las actividades y procesos forman el concepto de limpieza de terreno cuyo fin es eliminar la vegetación existente sobre un terreno, es parte importante de su habilitación para el desplante de las estructuras y en la realización de una excavación.

El proceso de limpieza del terreno se realiza mediante las siguientes actividades:

- Desenraice: extracción de troncos, tocones y raíces. Por lo general se lleva a cabo por medios manuales o mecánicos para tener una eficiente actividad.
- Roza: retiro de vegetación superficial (yerba, maleza o residuos de sembradíos).
- Limpia: retiro fuera de la obra o terreno del producto de las actividades anteriores.

Al material resultado de la extracción se llevó a bancos de tiro controlados y se presentó material sano que se consideró para rellenos de otras áreas.

A continuación se presenta una tabla donde se mide la densidad de materia vegetal que se presentan en diferentes condiciones de trabajo, así como también la descripción del terreno en función del porcentaje de vegetación:

Región	%*	Descripción
<b>1 Baja densidad</b>	70	Existe nula o poca vegetación y su presencia es parcial sobre la superficie del terreno a limpiar. Los pocos arbustos o vegetación existentes no alcanzan alturas mayores a 0.20m.
<b>2 Semi densa</b>	85	Se tiene mayor presencia de vegetación y arbustos. Estos pueden o no estar presentes en toda la extensión del terreno a limpiar y alcanzan alturas entre los 0.20 y 1.00m
<b>3 Densa</b>	100	Se tiene presencia en toda la extensión del terreno de vegetación y arbustos y estos pueden alcanzar alturas mayores a 1.00m. Puede encontrarse la presencia de árboles.

\*Porcentaje de la superficie total a limpiar

TABLA 7 CLASIFICACIÓN DEL TERRENO PARA LA LIMPIEZA EN FUNCIÓN  
DE LA DENSIDAD DE VEGETACIÓN (HOLCIM APASCO, 2008)

Una vez realizada la limpieza del área de trabajo y teniendo los accesos, lugares de depósitos temporal de materiales y grúas de apoyo así como el aseguramiento de los cortes del terreno se procede al trazo general y se verifica la nivelación para lo cual definimos ambas actividades:

- Se llama trazo al efecto de localizar, alinear, ubicar y marcar en el terreno o en la superficie de construcción los ejes principales, paralelos y perpendiculares señalados en el plano del proyecto, así como los linderos del mismo, con lo cual enmarcamos la superficie de trabajo, así observamos las dimensiones físicas en campo para poder ubicar zonas de apoyo durante la realización de los trabajos, como ejemplo: el espacio disponible para ubicar acero, cimbra, bombas estacionarias y telescópicas de concreto, grúas, equipo de izaje, etc.
- Se llama nivelación a los trabajos que se efectúan para conocer la diferencia de alturas de uno o varios puntos con respecto a uno conocido, denominado banco de nivel; éste puede ser verdadero o supuesto y de él depende la precisión del trabajo, estos puntos de control serán ubicados previamente y con área de protección que servirán al área de topografía para dar con precisión y prontitud los niveles solicitados por el residente de obra civil encargado de la plataforma.

Al combinar los dos conceptos anteriores, el trazo y nivelación se obtiene la referenciación necesaria para ubicar al proyecto en el espacio y de acuerdo a las dimensiones y niveles preestablecidos por el departamento de diseño.

Clasificación del proceso de trazo y nivelación:

- **Por medios manuales.** Cuando la superficie del terreno no es lo suficientemente grande cuyas dimensiones y desniveles no rebasen las tolerancias o márgenes de error establecidos para levantamientos topográficos.
- **Con aparatos de precisión.** Se utilizará el nivel y estación total. Este procedimiento se aplica cuando la superficie del terreno es lo suficientemente grande y sensiblemente desnivelada con el fin de evitar que durante la medición de distancias, alturas y ángulos se generen márgenes de error considerables.

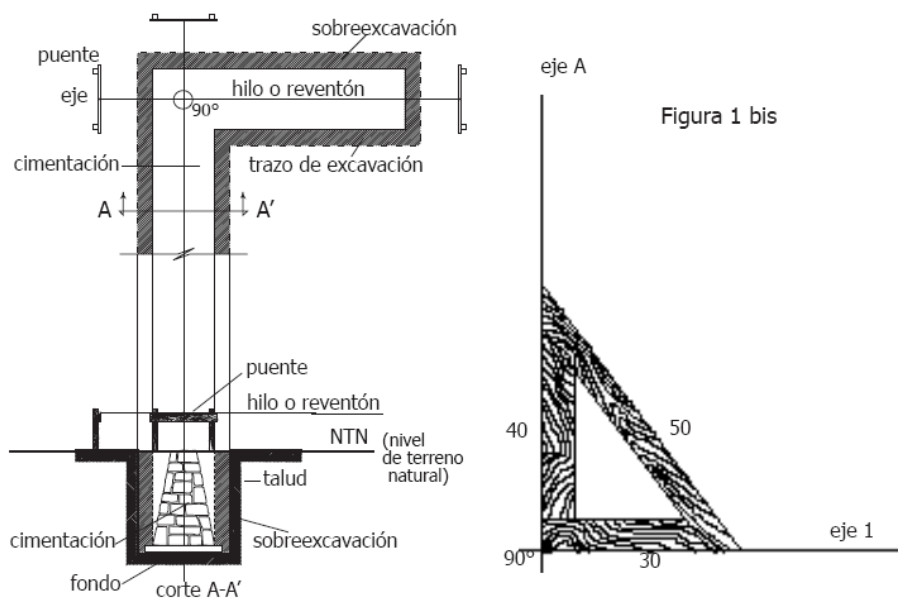


ILUSTRACIÓN 1.6 TRAZO POR MEDIOS MANUALES (HOLCIM APASCO, 2008)



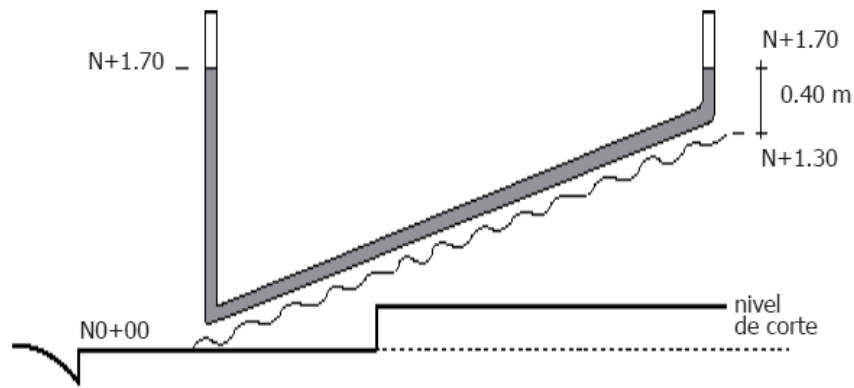


ILUSTRACIÓN 17 NIVELACIÓN CON MEDIOS MANUALES (HOLCIM APASCO, 2008)



ILUSTRACIÓN 18 EXCAVACIÓN DE TANQUE BIODIGESTOR

El trazo se realizará con equipo de topografía tipo estación total antes de la excavación, marcando y delimitando el área de trabajo con apoyo de niveles de tecnología de última generación así como la marcación de los taludes, este mismo se llevará en forma permanente con brigadas de topografía que contarán con equipo debidamente calibrado con la finalidad de que no se presenten sobre excavaciones y poder tener un mejor control de los niveles a los que se deseen llegar, se podrá contar con elementos auxiliares que permitan identificar físicamente el espacio que ocuparan los elementos, tal es el caso de estacas de madera con pintura de preferente en colores que sean fluorescentes o en color blanco y de los ejes principales marcados con cal como guía, siempre buscando que lo marcado sea lo necesario e indispensable, ya que por tener la opción de marcar

diferentes elementos, se podría llegar a dar el caso de sobre marcado de elementos en donde no es necesario llegar a tal nivel de detalle, por lo que en todo momento el residente de obra civil será quien solicite las referencias que le sean más convenientes según el caso que se presente. La excavación es la actividad necesaria para la remoción y extracción de materiales del suelo o terreno, ya sea para alcanzar el nivel de desplante de una cimentación; la rasante en la construcción de un camino o el fondo de una cepa para alojar una tubería.

El procedimiento para la excavación está en función de las características del terreno y de los materiales por extraer o remover, así como el empleo de herramienta especial, para lo cual el departamento de terracerías será quien lleve a cabo los trabajos, con el equipo asignado a la plataforma de trabajo, en coordinación con el superintendente de terracerías, el jefe de frente y el residente de obra, serán los indicados en hacer la planeación y requerimientos especiales de maquinaria para cubrir el programa.

De acuerdo al procedimiento la excavación se clasifica de la siguiente manera:

- Excavación por medios manuales.
- Excavación por medios mecánicos.
- Excavación con explosivos, en casos particulares y con la debida autorización.

La profundidad es una de las características que determina la dificultad de una excavación, por lo que también se clasifica en función de ésta:

- Desde 0.00 hasta 2.00 m de profundidad.
- Desde 2.01 hasta 4.00 m de profundidad.
- Desde 4.01 hasta 6.00 m de profundidad.

En la plataforma se presentaron las tres variantes en profundidad para el desplante de los tanques, para las siguientes estructuras: galería de tuberías, instalaciones de drenaje pluvial, registros eléctricos, cajas de control, iluminación en áreas comunes, etc.

La presencia de agua durante la excavación (nivel freático) representa una condición importante para valorar esta actividad, por lo que la excavación se clasifica también así:

- ❖ **Excavación en seco.** Cuando el material no presenta un contenido de humedad considerable.
- ❖ **Excavación en material saturado.** Cuando en su estado natural y antes de la excavación la superficie ha estado permanentemente expuesta al agua, aun cuando el nivel freático se abata durante el proceso de excavación y construcción de la cimentación.
- ❖ **Excavaciones en agua.** El abatimiento del nivel freático durante el proceso de construcción se logra mediante acciones de bombeo

Si esto no es factible económica o técnicamente se considerara como excavación en agua.

Los suelos que serán excavados se clasifican considerando varias características tales como su origen, granulometría (densidad, tamaño y distribución de partículas), resistencia, deformabilidad, permeabilidad, etc. Para el proceso de excavación la clasificación de los suelos se define en función de la dificultad para ejecutar esta actividad y se clasifican así:

- **Material I.** Es aquel que es atacable, si el proceso es manual, utilizando únicamente pala, sin requerir el uso de pico, aún cuando éste se emplee para facilitar la operación. Si el proceso es por medios mecánicos, este material puede ser eficientemente excavado con una escropa enganchada a un tractor sobre orugas cuya potencia sea de 90 a 110 caballos de fuerza (hp), sin el auxilio de arados o por otro similar, aún cuando éstos se utilicen para obtener mayores rendimientos. Los suelos de este tipo son blandos, no cementados cuya medida en prueba de penetración estándar o en compresión simple es menor o igual a 2.5 toneladas por metro cuadrado (ton/m<sup>2</sup>). Lo anterior no excluye a otro tipo de suelo con otras características diferentes, si satisface las señaladas en el inicio de este inciso.

- **Material II.** Si el proceso es por medios manuales se requerirá el uso de pico y pala. Si el proceso es por medios mecánicos la dificultad de extracción y carga exigirá el uso de un tractor sobre orugas con cuchilla de inclinación variable con una potencia de 140 a 160 caballos de fuerza (hp) o con pala mecánica de 1 m<sup>3</sup> de capacidad mínima y sin el uso de explosivos, aún cuando por conveniencia se utilicen para aumentar el rendimiento. La resistencia a la compresión simple de este material es menor o igual a 40 ton/m<sup>2</sup>.
  
- **Material III.** Si el proceso es por medios manuales, este material sólo puede removerse y alterarse con cuña y marro o con el uso de equipo menor como martillos neumáticos, o bien mediante explosivos o gel expansivo. Si el proceso es por medios mecánicos se requerirá del uso de martillos neumáticos adaptados al equipo pesado. En este material la resistencia a la compresión simple es de 400 ton/m<sup>2</sup>. (HOLCIM APASCO, 2008)

Aspectos importantes para seleccionar el equipo básico para una excavación por medios mecánicos:

- Tipo de material que se va a excavar.
- Tipo y tamaño del equipo para acarreo.
- Capacidad de carga o resistencia del material que se va a excavar.
- Volumen del material excavado que se va a mover.
- Distancia a la zona de tiro.
- Tipo de camino para el acarreo.
- Tiempo máximo disponible para ejecutar los trabajos, cuando aplique.

La excavación se llevará a cabo con equipo pesado principalmente excavadoras con ruedas tipo orugas, primeramente en los tanques donde no se lleve corte en taludes relativamente altos, ya que en el caso de los taludes verticales colindantes con las plataformas inmediata superior se llevará a cabo una protección de talud por medio de concreto lanzado de acuerdo al estudio de mecánica de

suelos y estudio de protección de talud contra la erosión del terreno, con este fin se pretende dar inicio con las excavaciones en los tanques del grupo 2 de la plataforma 20 y en el grupo 1 de la plataforma 22 en el sentido longitudinal en ambos casos. Dicha excavación se realizará en dos etapas, la primera hasta el nivel superior de la zapata de cimentación y posteriormente el cono invertido para el desplante de la cimentación hasta llegar al nivel de la plantilla de cimentación, es recomendable siempre se verifique de manera física las condiciones de la superficie de desplante de cada digestor ya que por condiciones de terreno se pueden presentar variaciones en el tipo de suelo y se debe acudir al residente especialista de suelos para seguir las acciones preventivas pertinentes a cada problema que se pueda llegar a suscitar en campo.



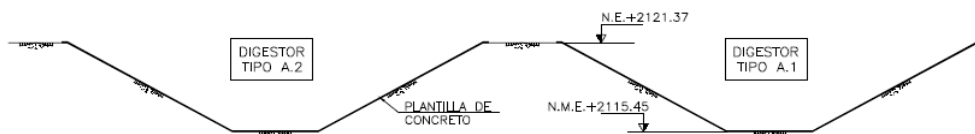
ILUSTRACIÓN 19 PROTECCIÓN DE TALUD

Se realizará un trazo para verificar la sección de acuerdo a las dimensiones indicadas, previo al afine del terreno natural, en caso de ser necesario se colocará cimbra para delimitar el área, tomando en cuenta que esta deberá estar alineada sin exceder la altura, se pondrán maestras y/o varillas para permitir hacer una buena nivelación al momento de colocar y reglear el concreto, todo esto verificado con equipo topográfico preferentemente, es recomendable que se realice en una sola etapa de colado.

Al momento de realizar la excavación se procederá al afine del material y el retiro de material suelto con el objeto de tener el desplante desde el nivel de terreno natural, una vez que se tiene una limpieza en toda el área se colocan las varillas conocidas como maestras que se tendrán que nivelar con equipo topográfico y dando la pendiente de proyecto para colocar la plantilla y tener la referencia al momento de reglear o afinar el concreto, como adicional y verificar lo colocado topográficamente, se tiran líneas de hilo en la parte superior de las varillas para verificar la pendiente este alineada en toda la zona de la excavación.



ILUSTRACIÓN 20 TRAZO DE TANQUE BIODIGESTOR



**PRIMERA ETAPA**  
 EXCAVAR HASTA EL N.M.E.+2115.45 Y COLAR  
 PLANTILLA DE CONCRETO SIMPLE DE 50 mm. DE ESPESOR.  
 VERIFICAR NIVELES Y DIMENSIONES.  
 COLOCAR BANDAS DE PVC DE JUNTAS DE COLADO.

**(\*) NOTAS AL PROCESO CONSTRUCTIVO DE EXCAVACIONES**

- LA EXCAVACION SE REALIZARA CON EQUIPOS MECANICOS Y AFINE MANUAL PARA EVITAR LA SOBRE EXCAVACION O ALTERACION DEL SUELO DE DESPLANTE.
- LA NIVELACION SE DEBERA CONTROLAR CON EQUIPO TOPOGRAFICO.
- EL PROCESO DE EJECUCION DE LAS EXCAVACIONES Y SU AVANCE SE DETERMINARA SEGUN LOS MEDIOS AUXILIARES DISPONIBLES EN OBRA Y EL PLAN DE OBRA DEFINITIVO.

ILUSTRACIÓN 21 PROCESO CONSTRUCTIVO DIGESTOR TIPO. ETAPA I EXCAVACIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO

El control de los niveles del agua en el subsuelo es una parte fundamental durante la excavación y la construcción de una cimentación. Será necesario, entonces, drenar o abatirlo a fin de permitir que los trabajos se efectúen en condiciones relativamente secas. El abatimiento se logrará mediante el bombeo.

La ausencia de agua (sin llegar a un estado completamente seco) en la excavación estabiliza el fondo y los taludes, reduce las cargas laterales en los taludes, hace que el material de excavación sea más ligero y fácil de manejar y evita un fondo movedizo y lodoso, muy inconveniente para las actividades posteriores.

Para conservar una excavación libre de agua, en casi todos los tipos de suelos, el nivel freático se debe mantener a una profundidad, por lo menos de 60 cm o, preferentemente, a 150 cm por debajo del fondo de la excavación.

Los sondeos y estudios de mecánica de suelos realizados previamente proporcionan información útil para seleccionar el método de abatimiento más apropiado y económico. Es entonces importante conocer:

- La estratigrafía del terreno.
- La clasificación del suelo.
- El nivel freático probable durante la construcción.
- La permeabilidad del suelo.
- Los gastos de agua que deberán controlarse.
- La cercanía y disponibilidad de alguna fuente de energía para el equipo de bombeo

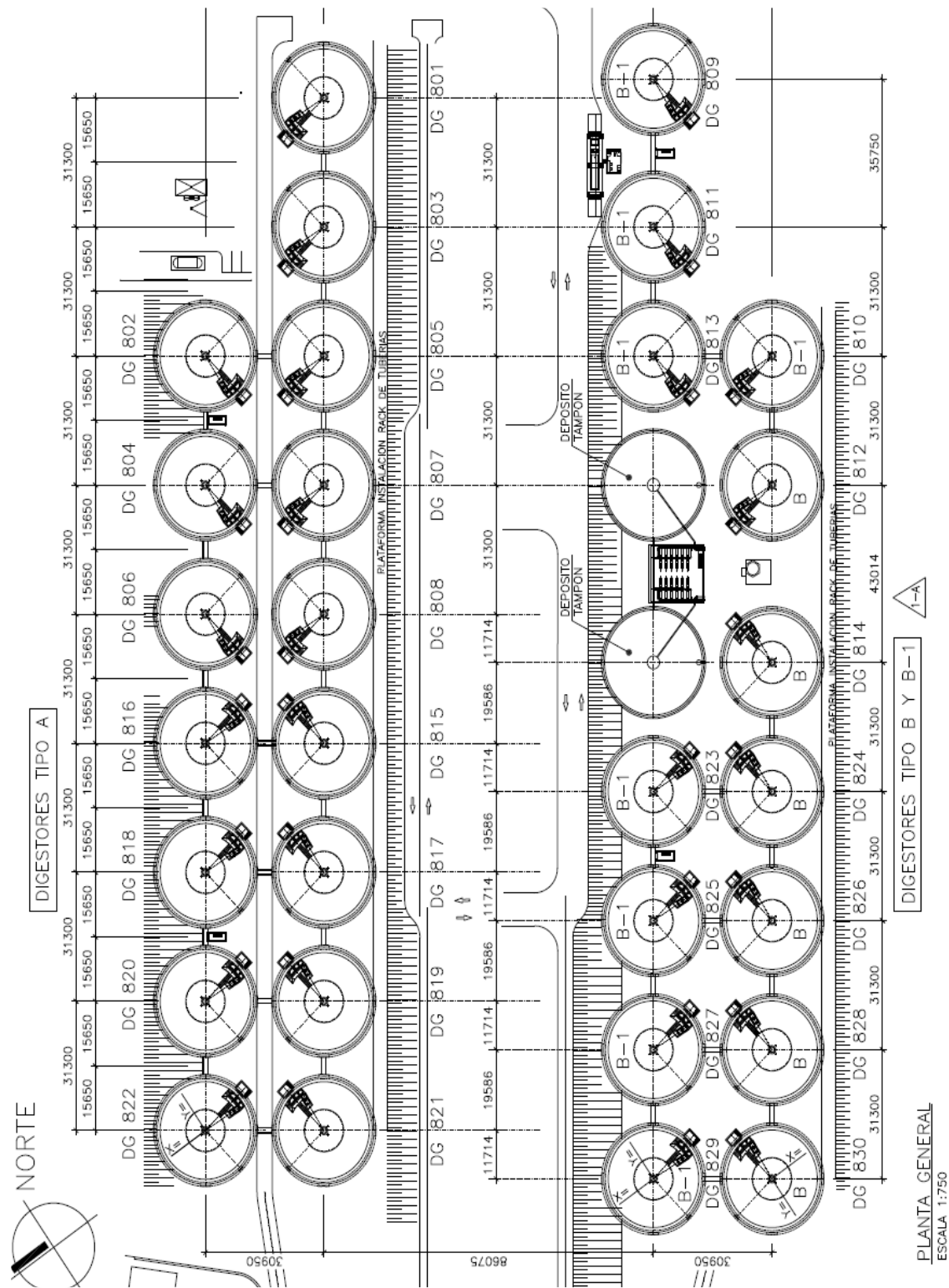


ILUSTRACIÓN 22 PLANTA GENERAL DE LOS TANQUES DIGESTORES TIPO A, B Y B-1.





El acero de refuerzo se recibirá en el área de almacén y taller de dobles, contado y verificado de acuerdo a su diámetro, este deberá contar con las delimitaciones y protecciones pertinentes para reducir los efectos abrasivos por intemperización del material, además de que se realizarán los controles de calidad que se indican de acuerdo al volumen y tipo de material suministrado, esto lo llevara el área especializada en el manejo de la calidad de materiales. Derivado del área de trabajo y la cantidad de elementos a construir es recomendable se ubiquen dos centros móviles de habilitado en un área de aproximadamente 25 x 50 metros, junto a la plataforma donde se construirán los tanques, cada uno de ellos contara con una cortadora, una dobladora y dos mesas de trabajo. Una vez verificado que el acero suministrado cumpla con las especificaciones del proyecto, tales como tipo de acero, corrugado, resistencia, grado de oxidación perjudicial, quiebres, escamas y limpieza, se procederá a realizar el habilitado del acero. A continuación presentamos una imagen aérea del taller de dobles y el almacén general de la obra donde se contarán con equipos especializados de habilitado así como también maquinaria de transporte de acero del taller a las plataformas de trabajo.



ILUSTRACIÓN 25 IZQUIERDA: TALLER DE DOBLES DE ACERO Y A LA DERECHA:

ALMACÉN GENERAL DE LA OBRA

Para iniciar con el habilitado del acero de refuerzo se deberá contar con los planos aprobados para construcción, para el doblado de varillas se ejecutaran en frio y lentamente, contando con un área de

estiba y almacenaje, es importante indicar que toda estiba de acero habilitado estará sobre madera o cualquier objeto que le permita no estar en contacto con el suelo. Una vez estivado, el acero será etiquetado para su identificación adecuada y control de los volúmenes de habilitado ya que es de importancia el llevar la cuantía de acero que se ocupa en cada elemento con fines administrativos y de control de gastos

#### 4.2.2 CIMENTACIÓN

Para el inicio de las actividades de colocación de acero a la losa de fondo del tanque digestor, se habrá presentado el formato de liberación de plantilla por parte del área de construcción por el consorcio, y las áreas respectivas del departamento de supervisión tanto de los departamentos eléctricos y mecánicos tomando en consideración a todos los involucrados dentro de la actividades del proceso constructivo del tanque, por lo que antes de colocar el acero de refuerzo se deberá verificar que la superficie se encuentre limpia, libre de lodos, aceites u otros elementos que pudieran afectar en la colocación del mismo, se verificara el trazo del elemento estructural a armarse y se colocaran los separadores de concreto conocidos como: "pollitos", que se elaboran a base de moldes de sección circular preferentemente con un tramo de alambre recocado que servirá como amarre en el acero a colocar y que se debe tener atención en la resistencia del separador ya que debe tener al menos la misma resistencia del elemento a colar, todo con el fin de cumplir con los recubrimientos especificados del proyecto, así mismo se verificara que se cumpla con las especificaciones de traslapes y empalmes en caso de encontrar alguna especificación particular en el proyecto se notificará a la dirección técnica para su atención y solución.



ILUSTRACIÓN 26 REVISIÓN E INSPECCIÓN DE LA CIMENTACIÓN Y LA BANDA DE PVC

Por las condiciones específicas de la geometría y su uso del tanque se presenta un arreglo particular para la colocación del acero de refuerzo que se tiene que respetar por parte del constructor, por lo que a continuación se presentan ilustraciones de la colocación de acero en la losa de cimentación.

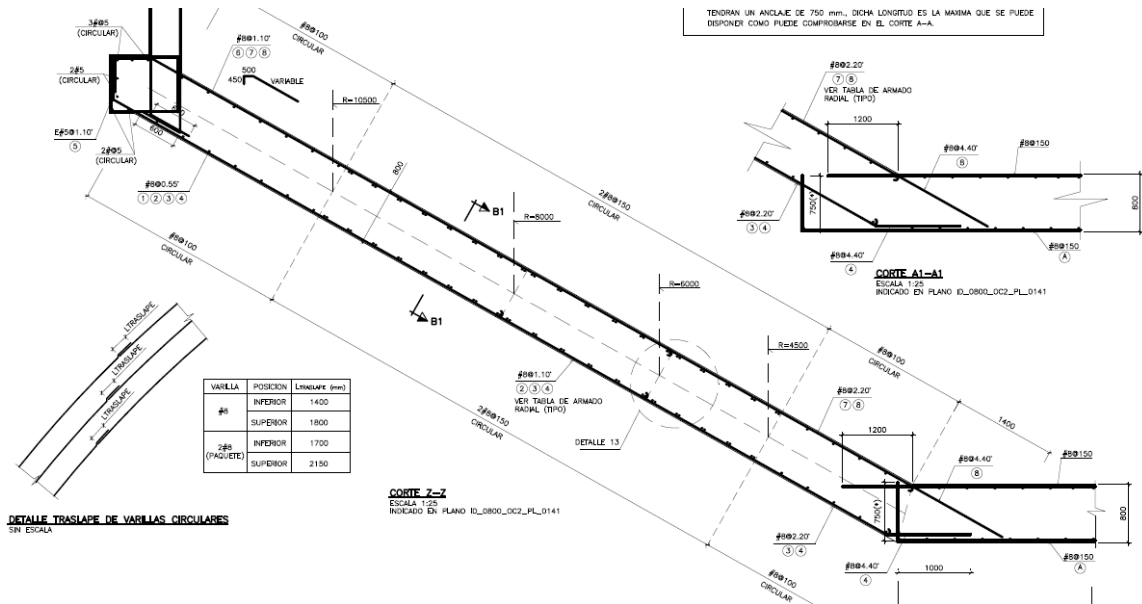
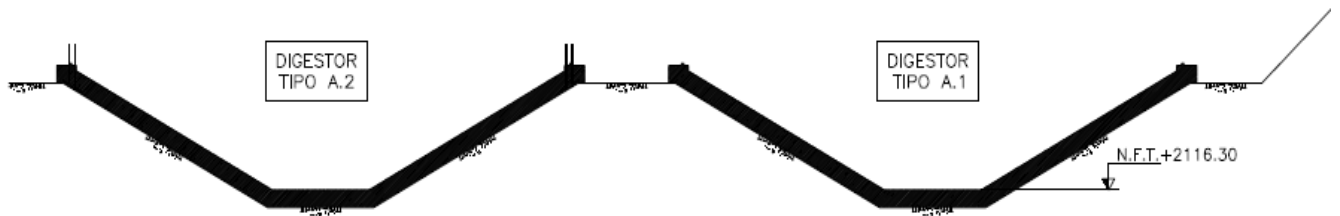


ILUSTRACIÓN 27 DIGESTOR TIPO B Y B-1 ARMADO DE LOSAS, CORTE EN SECCIÓN TRANSVERSAL



**SEGUNDA ETAPA**

HABILITADO DE ACERO DE REFUERZO DE LOSA DE CIMENTACION Y COLOCACION DE VARRILLAS VERTICALES DEL MURO Y ANCLAJES DE PRESFUERZO VERTICAL.  
COLOCACION DE BANDAS DE PVC PARA JUNTA ENTRE LOSA Y MURO, ASI COMO PLACAS DE APOYO DE TUBERIAS, ETC.  
COLADO DE LA LOSA DE CIMENTACION.

ILUSTRACIÓN 28 PROCESO CONSTRUCTIVO DE TANQUE DIGESTOR TIPO.

**ETAPA 2 CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIÓN**

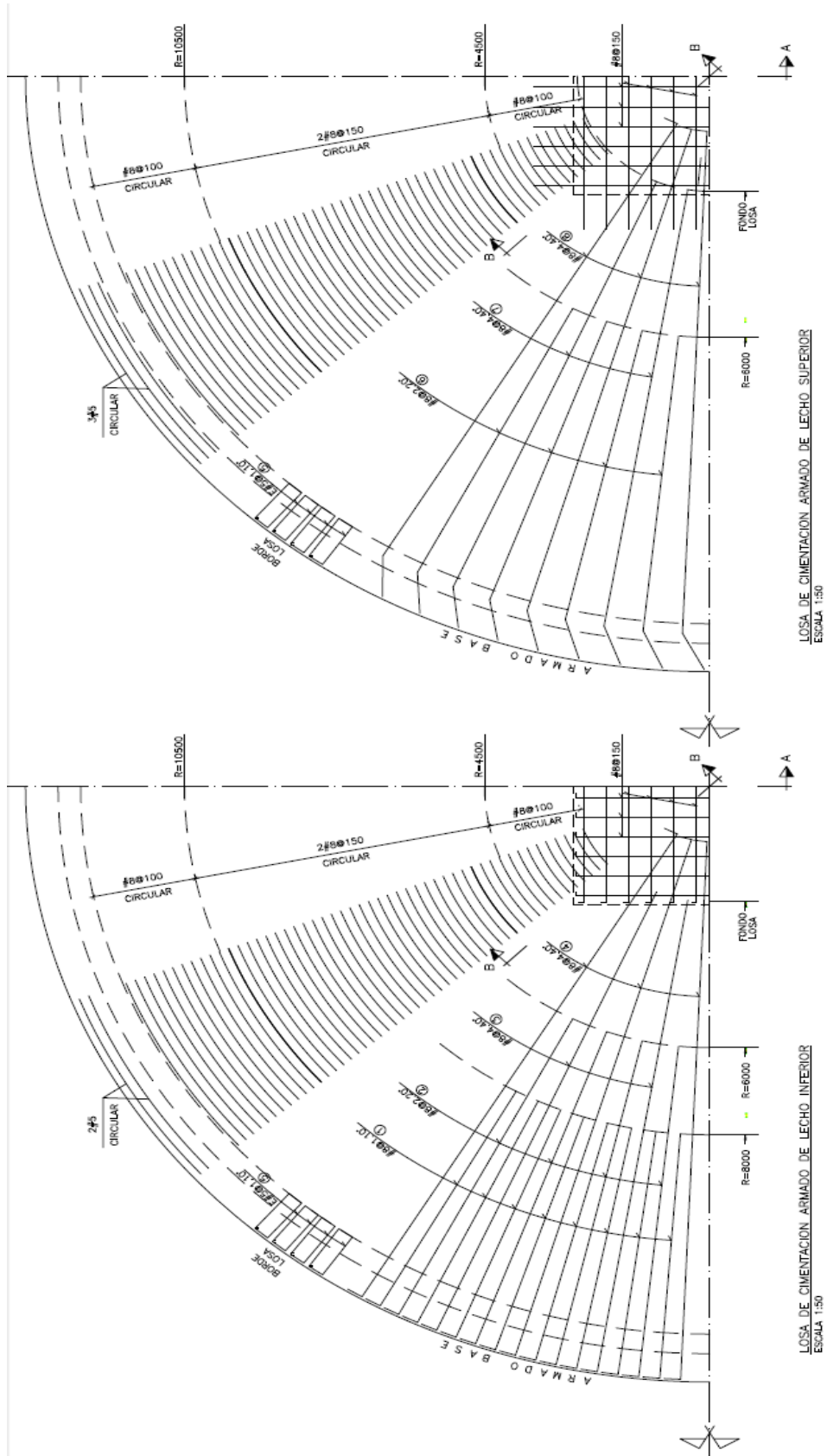
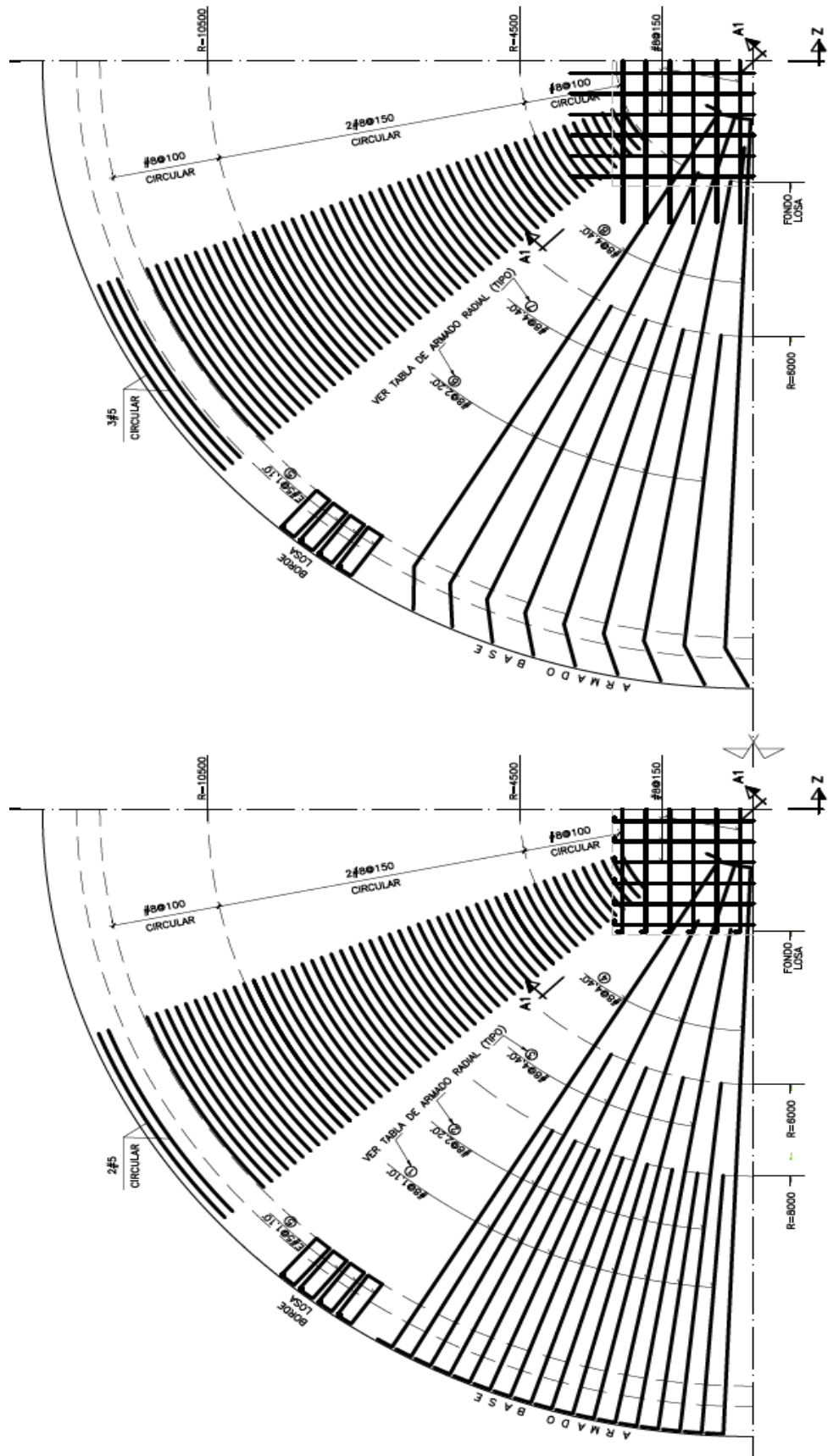


ILUSTRACIÓN 29 CIMENTACIÓN DE DIGESTORES TIPO A ARMADO DE LOSA LECHO INFERIOR Y LECHO SUPERIOR



LOSA DE CIMENTACION DIGESTORES TIPO B Y B-1 ARMADO DE LECHO SUPERIOR  
ESCALA 1:50

LOSA DE CIMENTACION DIGESTORES TIPO B Y B-1 ARMADO DE LECHO INFERIOR  
ESCALA 1:50

ILUSTRACIÓN 30 CIMENTACIÓN DE DIGESTORES TIPO B Y B-1 ARMADO DE LECHO INFERIOR Y LECHO SUPERIOR

Se tomarán las previsiones de limpieza, seguridad y cantidad de material así como la mano de obra necesaria para la colocación del acero en la plantilla, se cuenta con el apoyo de maquinaria de corte y doblado donde una vez que el ingeniero residente de obra con el apoyo de su jefe de frente se manden los formatos de despiece de material así como el diámetro y cantidad de elementos a suministrar por el departamento correspondiente, se ubicará una zona cercana a la colocación para reducir en tiempos de traslado y colocación de acero de refuerzo, se contarán con bobinas de alambre rojo recocido para realizar el amarre de las parrillas de acero inferior y superior de la cimentación, se hará hincapié que siempre antes de colocar el acero se hayan realizado pruebas de calidad por el área asignada para garantizar todo el conjunto estructural. Una vez aprobados los formatos de liberación de elementos por el departamento de topografía, calidad y la supervisión se da comienzo a la colocación del acero.

Se presenta una tabla resumen de las cantidades y de acuerdo al diámetro de las varillas a colocar dentro de la cimentación del digestor, tomando la cuantificación de acuerdo a los planos de proyecto aprobados para su ejecución.

<b>Tabla resumen volúmenes de acero para la cimentación del digestor tipo</b>		
	Diámetro #	Peso (Kg)
<b>Lecho inferior</b>	8	49 649.22
	5	3 329.30
<b>Lecho superior</b>	8	44 010.25
	5	3 702.76
<b>Total de acero</b>		100 691.53

TABLA 8 ACERO DE CIMENTACIÓN BIODIGESTOR TIPO

Dentro de la colocación del acero de refuerzo del muro en el caso de las varillas verticales rectas que se desplantan desde la zapata se preverá que su colocación quede completamente vertical o de acuerdo al proyecto asegurándolas con contra venteos, con el fin de garantizar la seguridad y estabilidad de los elementos esto se puede observar dentro de la ilustración 30 donde se presentan detalles de los arreglos de las verticales así como también se presentan los ganchos y longitudes mínimas necesarias para el anclaje de las varillas.



ILUSTRACIÓN 31 COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO - BASE DE BIODIGESTOR

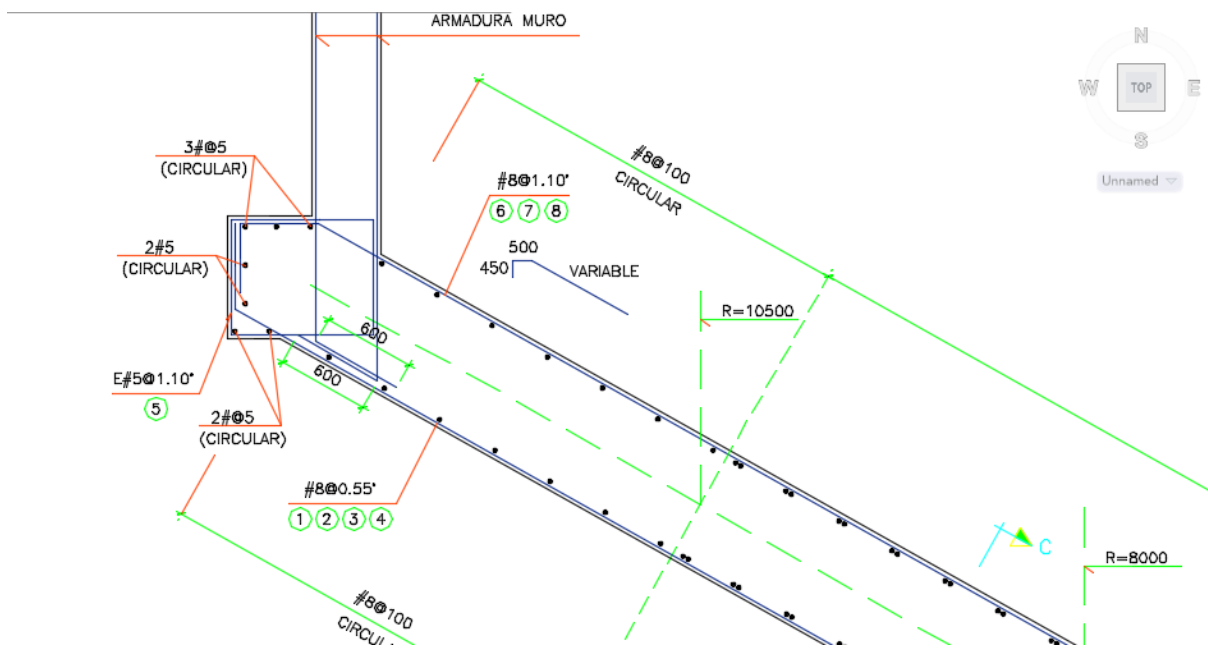


ILUSTRACIÓN 32 DETALLE ARMADO DE LOSA - MURO EN TANQUE DIGESTOR

Una vez verificado y terminado el proceso de colocación del acero de refuerzo se hará una inspección física para verificar dimensiones, separaciones, sujeciones, alineado, forma y posición y que todo se haya colocado de acuerdo a las especificaciones del proyecto, así como la verificación de que el acero esté libre de lodos, aceites u otros contaminantes que pudieran afectar la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo. Para el caso de la cimbra para este elemento perimetral se considerarán tableros curvos de madera, habilitados con barrote de 2" x 4", tablones de 2" x 6", cerchados, y forro de triplay de 5/8", con



una curvatura en la superficie de contacto igual al diámetro de la cimentación, realizando un recubrimiento con líquido desmoldante en la cara de contacto que se tendrá con el concreto, ya que este apoyará a que se tenga la reutilización de las piezas moldeadas con más usos dentro de la cimentación. Previo a la colocación de la cimbra y del acero de refuerzo debe de hacerse el trazo topográfico de acuerdo con las dimensiones de los planos, y partiendo de los puntos topográficos de referencia, se van colocando los tableros sobre el trazo hecho sobre la plantilla y se clavan a esta con clavo de acero, luego se va fijando y troquelando la cimbra para que se mantenga en su posición durante el colado. Se verificara que antes de colocar los tableros de cimbra, esta se encuentra limpia y libre la superficie de contacto y que se aplique el desmoldante necesario para facilitar el descimbrado y evitar despostilladuras.

Una vez terminada la colocación de la cimbra, se marcaran en ella los niveles de llenado, y se hará una revisión de dimensiones, alineamientos, plomeos, y recubrimientos. Una vez que se concluya la actividad de la cimbra se procederá a la solicitud del formato de liberación de colado para elementos estructurales, donde se va integrando una bitácora de solicitudes de colados por áreas de proyectos escribiendo en primer plano el área correspondiente, el elemento a colar y al final la fecha de solicitud, en el siguiente párrafo se realiza una descripción breve pero completa de la ubicación, número de identificación, sección nivel de desplante y nivel tope, ejes principales y secundarios, área de colado en un breve croquis y por último se colocan los centros de costo correspondientes al elemento que se asignaron basados en el concentrado general de los WBS definidos de acuerdo a la estructura de desglose de trabajo, terminado con la rúbrica del solicitante y su nombre completo. Una vez que se tengan los formatos de liberación y se han cubierto las firmas por las áreas de calidad, la supervisión, la de instalaciones especiales y la electromecánica, se esté en completo orden para realizar la solicitud del concreto con las características particulares del proyecto donde se tiene que respetar de acuerdo a la siguiente tabla de especificaciones por parte del departamento de diseño e ingeniería.

<b>Especificaciones del concreto estructural</b>	
Resistencia a la compresión	350 Kg/cm <sup>2</sup>
Relación agua/cemento	< 0.45
Contenido de cemento	>330 Kg/m <sup>3</sup>
Tamaño máximo del agregado grueso	19 mm De origen calizo
Tipo de cemento	"CPO RS" (Cemento Portland Ordinario- Resistente a los sulfatos)

TABLA 9 ESPECIFICACIONES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL USADO PARA LA CIMENTACIÓN DE LOS TANQUES DIGESTORES (AGUAS TRATADAS DEL VALLE DE MEXICO, 2011)

Para darle continuidad al proceso constructivo se deben dejar preparaciones para el pos tensado para lo cual se trazará la localización de los ductos para pos tensado vertical, se colocara y se fijara la parte del ducto y sistema de anclaje que queda en el concreto de la cimentación, asegurándonos de que queden preparados los tramos completos de ductos y cables, ya que el sistema de sujeción de ductos y cables deberá garantizar su verticalidad y posición.



ILUSTRACIÓN 33 ACERO Y LÍNEAS DE POTENSADO INSTALADOS PREVIOS AL COLADO DE LA ZAPATA

Se deberá poner especial atención en la colocación de placas para soporte de equipo y torre temporal para apuntalamiento de cimbra. La localización y niveles de los soportes deberán verificarse con los planos de tuberías, equipos y planos de montaje de cimbra.

Una vez concluidos los trabajos de colocación de acero de refuerzo y cimbra, antes de vaciar el concreto, se llenará la solicitud de colado para la liberación del elemento, posteriormente se realiza el vaciado del concreto considerado para este elemento, de esta forma se vacía la totalidad de la zapata en un solo evento, así mismo se verificaran lo siguiente puntos:

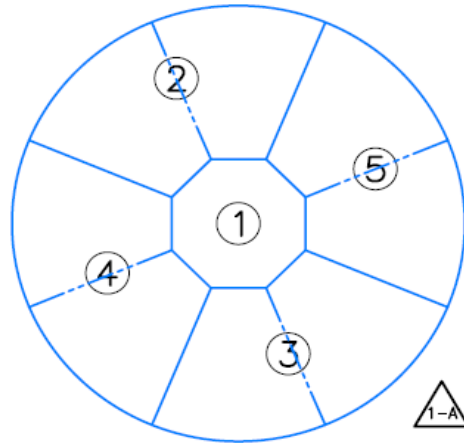
- ✓ Troquelamientos con polines de madera o puntales
- ✓ Plomeo y verticalidad de cimbra de acuerdo al proyecto

- ✓ Recubrimientos
- ✓ Limpieza del área
- ✓ Punto de colocación y acceso de los camiones revolvedora
- ✓ Se verificaran accesos de vialidades, por cualquier evento de un cierre parcial o total con el área de seguridad correspondiente
- ✓ En caso de requerirse se tendrán que contar con las liberaciones por parte de seguridad de los andamios o escaleras a usar durante el vaciado.
- ✓ En caso de que la operación se lleve a tiempos extraordinarios, se contarán con equipo que garantice en todo momento la seguridad e integridad de los trabajadores
- ✓ Verificación de equipo y/o herramienta menor necesaria para el vaciado
- ✓ Cuadrilla de laboratorio para el muestreo de concreto fresco
- ✓ Verificación de temperatura ambiente

Realizado la inspección de los puntos anteriores se deberá contar con al menos 12 camiones mezcladores y 2 bombas telescópicas de 36 metros por parte del proveedor de concreto así como la logística del tiempo estimado del elemento a colar (considerar el tipo, alcance y tiempo estimado de bombeo), es importante señalar que una vez iniciado el vaciado de concreto no deberá interrumpirse, por lo que se debe revisar que se encuentren en sitio con todos los materiales y equipos necesarios.

Vaciado de concreto, el concreto debe vaciarse lo más cercano a su posición definitiva, se debe vaciar en capas sensiblemente horizontales y de espesor uniforme de 80cms para así poder acomodar correctamente el concreto en la parte inclinada de la zapata, consolidando adecuadamente cada capa, asegurándose que el concreto no caiga libremente a más de un metro y medio de altura, el vaciado una vez iniciado no debe ser interrumpido, en la eventualidad de interrupción de este, la superficie debe ser tratada para garantizar la adherencia de los concretos, con la colocación de algún aditivo adecuado para el fin o con algún método mecánico, con el fin de garantizar la perfecta adherencia de las capas, no se debe llevar a cabo un colado durante lluvias fuertes o prolongadas que puedan lavar el mortero del agregado grueso. Durante el vibrado del concreto es necesario evitar el contacto excesivo de los vibradores con la cimbra, lo cual podría causar desnivelaciones, para el acomodo y compactado del concreto se tendrán 6 vibradores de chicote con cabezal redondo de 1 1/2" a 2 1/2", analizando y considerando la densidad de acero para dejar libremente el paso de los vibradores. En las zonas donde la superficie de la cimentación es inclinada se deberá de colocar el concreto preferentemente con un revenimiento no mayor de 12 cm. Se tomara para efectos de

secuencia de vaciado de concreto de acuerdo a las recomendaciones del proyecto tomando en cuenta los cortes y límites de colados por turnos con el fin de cuidar las juntas y la colocación adecuada de la banda de PVC en donde se indica



**ESQUEMA SECUENCIA DE COLADO**  
SIN ESCALA

ILUSTRACIÓN 34 ESQUEMA SECUENCIA DE COLADO DE LOSA FONDO

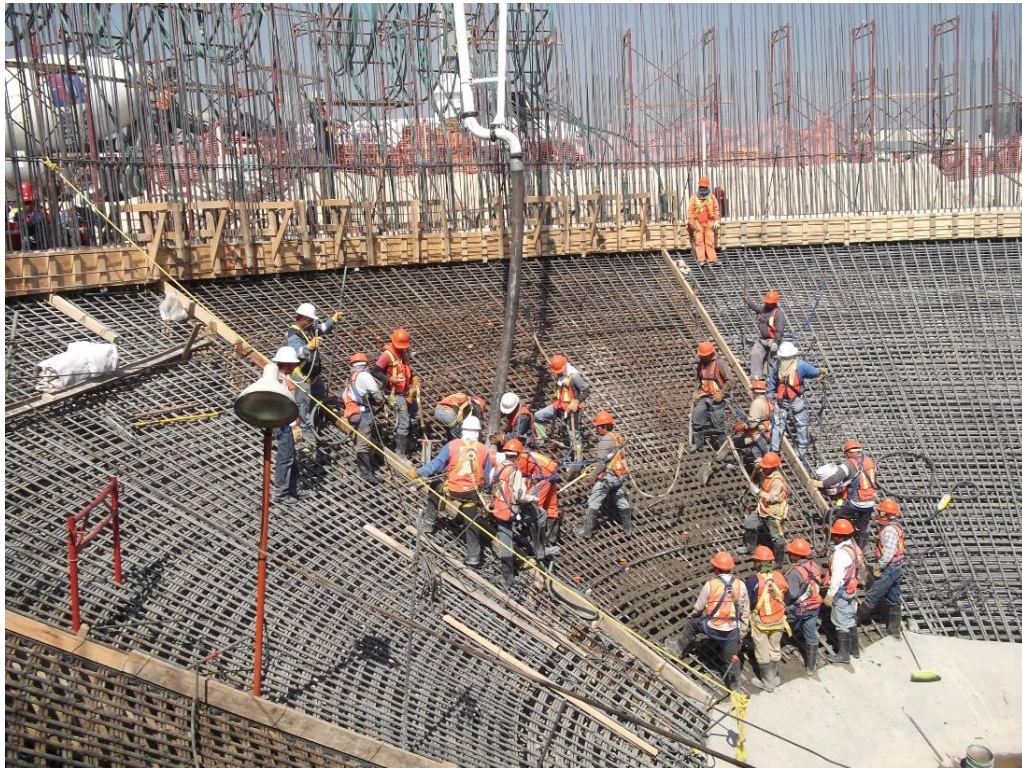


ILUSTRACIÓN 35 COLADO DE UNA SECCIÓN DE LA ZAPATA CON DELIMITACIONES EN AMBOS LADOS

Cuando la resistencia del concreto haya alcanzado la suficiente firmeza para sostenerse por sí mismo se procederá al retiro de la cimbra, cuidando que no se desprenda el concreto ni se produzcan despostillamiento del elemento ya colocado, una vez retirada la cimbra se procederá a la limpieza y reparaciones de los paneles dañados. Durante este proceso se considera tener previsto el curado a base de yute con rociado continuo de agua para mantener la humedad del concreto.

El concreto se expande y se contrae con los cambios de humedad y temperatura. La tendencia general es a contraerse y esto causa el agrietamiento a edad temprana. Las grietas irregulares son anti estéticas aunque generalmente no afectan la integridad del concreto. Las juntas son sencillamente agrietamientos planificados.

De acuerdo a la ilustración 32 se tienen presentes de acuerdo a proyecto juntas de colado las cuales se presentan en tres tipos diferentes que a continuación se describen:

- **Juntas de aislamiento**
- **Juntas de contracción**
- **Juntas de construcción**

- **Juntas de aislamiento**

Las juntas de aislamiento están diseñadas para permitir movimientos diferenciales tanto horizontales como verticales en las partes adyacentes de la estructura. Se emplean por ejemplo, en el contorno perimetral de las losas sobre el piso, alrededor de cimentaciones y columnas así como en el contorno de la cimentación de equipos o máquinas, con el propósito de separar el piso de concreto de los elementos más rígidos de la estructura.

La separación se realiza frecuentemente mediante la colocación de bandas compresibles tipo hule espuma o cartón asfaltado (ha ido paulatinamente en desuso). El espesor de este tipo de materiales puede ser de 6 mm (1/4 pulg.), pero es más frecuente el empleo de espesores de 13 mm (1/2 pulg.). Es muy importante asegurarse que todos los bordes en toda la profundidad de la losa se aíslen de las construcciones adyacentes, ya que de lo contrario podrían presentarse agrietamientos.

Las columnas en zapatas separadas deben aislarse de la losa del piso a través de una junta de forma circular o cuadrada. La de forma cuadrada debe girarse para que sus esquinas queden alineadas con las juntas de control y de construcción.

- **Juntas de control o de contracción**

Este tipo de juntas permiten el movimiento en el plano del muro o de la losa muro induciendo el agrietamiento de los mismos -causado por la contracción por secado y térmica del concreto- de manera controlada. Las juntas de control se deben construir para permitir la transferencia de las cargas perpendiculares al plano del muro o de la losa. Si no se diseñan ni emplean estas juntas, o si se deja mucho espacio entre ellas en los pisos de concreto o en muros poco reforzados, podría ocurrir agrietamiento de forma aleatoria, que se presenta con más frecuencia cuando la contracción por secado y térmica produce esfuerzos de tensión mayores a los que puede resistir el concreto.

Hay diversas formas de diseñar las juntas de contracción para pisos de concreto. El método más convencional consiste en realizar el aserrado del piso formando una ranura recta continua en la parte superior de la losa. Esto crea un plano de debilidad en el cual se formará la fisura. Las cargas verticales se transmiten a lo largo de la junta gracias al enlace de los agregados entre las caras opuestas de la fisura, siempre y cuando la grieta no esté muy abierta y la separación entre las juntas no sea muy grande. Es importante considerar que si el ancho de la grieta en las juntas de contracción aserradas es mayor a 0.9 mm, la junta así formada no transferirá las cargas de manera adecuada. La eficiencia de la transferencia de carga por el enlace del agregado no es sólo función del ancho de la grieta. Existen otros elementos que también influyen como son el espesor de la losa, soporte de la subrasante, magnitud y repeticiones de la carga así como la angulosidad de agregado grueso en particular.

Para mejorar la transferencia de cargas vivas como es la circulación de vehículos, equipos de carga, etc., se emplean también barras de acero liso, a las cuales se les conoce como pasajuntas, pasadores o barras de transferencia.

Cuando el método constructivo definido para la formación de las juntas de control es a través del corte o aserrado del concreto, su inicio estará en función del tiempo de fraguado del concreto. Debiéndose iniciar tan pronto tenga una dureza suficiente para evitar que las aristas del piso cortado se deterioren. Es común que el tiempo para que esto no ocurra, se presente generalmente entre 4 y 12 horas después del fraguado

o endurecimiento del concreto. Es de suma importancia considerar que el corte o aserrado del concreto se debe terminar antes que los esfuerzos debidos a la contracción por secado se conviertan en lo suficientemente grandes para provocar el agrietamiento.

El tiempo de fraguado y endurecimiento del concreto depende de factores como son el proporcionamiento de la mezcla, las condiciones ambientales y el tipo y dureza de los agregados. Existen hoy día nuevos equipos cuyas características hacen posible el aserrado en seco (no requieren de agua para el corte) posibilitando la realización del corte del concreto con la sierra poco tiempo después de las operaciones de acabado final.

Las juntas de contracción también pueden formarse en el concreto fresco mediante acanaladoras manuales o ranuradores, o con la colocación de tiras de madera, metal o material preformado. El tope de las tiras se debe nivelar con la superficie de concreto.

Las juntas de contracción, no importa el tipo que sean (aserradas, ranuradas o preformadas) deben tener una profundidad de por lo menos la cuarta parte del espesor de la losa y no menos de 25 mm (1 pulg). Se recomienda que si la transferencia de carga por el enlace del agregado es importante, la profundidad de la junta no exceda de un tercio del espesor de la losa.

El espaciamiento de las juntas en pisos sobre el terreno dependerá de:

- ❖ El espesor de la losa
- ❖ La contracción potencial del concreto
- ❖ La fricción con la subrasante
- ❖ El medio ambiente
- ❖ La presencia o ausencia de acero de refuerzo

El espaciamiento de las juntas se debe disminuir en concretos que potencialmente puedan tener alta contracción. Los tableros creados por las juntas de contracción deben ser aproximadamente cuadrados. Tableros con una relación longitud-ancho mayor de 1.5 a 1 son potencialmente propensos a agrietarse en un sitio intermedio. En el diseño del sistema de juntas, es importante tener siempre presente que las juntas de control o contracción deben finalizar en un borde libre o en una junta de aislamiento. Las juntas de contracción nunca deben terminar en otra junta de contracción, pues se inducirá el agrietamiento de un extremo de la junta en el panel adyacente, efecto que es conocido como agrietamiento por simpatía.

En muros, las juntas de contracción también son planos de debilidad que permiten movimientos diferenciales en el plano del mismo. El espesor del muro en la junta de contracción se debe reducir un 25% (preferiblemente un 30%). En muros poco reforzados, la mitad de las barras de acero se deben cortar en las juntas (lo cual deberá ser validado por el estructurista). Se debe tener cuidado para cortar en la junta las barras alternadas. En los bordes de las aberturas en los muros, donde se ubiquen las juntas de contracción, debe proveerse un refuerzo adicional diagonal o vertical y horizontal, a fin de controlar la fisuración. Las juntas de contracción en los muros no se deben espaciar más de 6 metros. Debe considerarse asimismo que las juntas de contracción se ubiquen u ocurran cambios significativos del espesor o de la altura del muro y cerca de los bordes, si es posible, dentro de 3.0 a 4.50 m. Dependiendo del tipo de estructura, estas juntas pueden requerir ser selladas para prevenir el paso del agua a través del muro. En lugar del sellado, se puede usar banda de PVC (o ambos) para prevenir el escape del agua a través de las fisuras que ocurren en las juntas.

- **Juntas de construcción**

Las juntas de construcción son lugares de interrupción del proceso constructivo, bien sea de manera planeada o no. Una adecuada junta de construcción debe programarse para unir el concreto nuevo al concreto existente y no debe permitir movimiento. Las barras de anclaje corrugadas se usan frecuentemente en juntas de construcción para restringir el movimiento. Como se necesita un cuidado especial para que se produzca una auténtica junta de construcción, se les diseña y construye para servir también como juntas de contracción o aislamiento. Por ejemplo, en un piso sobre el terreno, las juntas de construcción se alinean con las columnas y funcionan como juntas de contracción y, por lo tanto, se



construyen intencionalmente sin adherencia. Se emplean aceites, desmoldantes y/o pinturas como materiales para evitar la adherencia de las juntas. En las losas gruesas y con cargas de trabajo elevadas, suelen usarse juntas de construcción con barras de transferencia no adheridas. En losas delgadas, es suficiente la junta plana (sin escarificación) a tope.

En la mayoría de las estructuras es deseable establecer juntas en los muros que no afecten la apariencia. Si se diseñan adecuadamente, las juntas en los muros pueden resultar discretas con características arquitectónicas.

En los muros, las juntas horizontales se deben formar de forma recta, perfectamente horizontales y se les debe ubicar en el sitio apropiado. Una junta de construcción horizontal y recta se puede producir clavando una tira de madera de  $\frac{3}{4}$ " ó 1". En la cara interior de la cimbra cerca de la parte superior se debe colar el concreto a un nivel un poco más alto al fondo de la tira.

Después que el concreto haya terminado su asentamiento lo cual ocurre generalmente en el momento en que el concreto se torna duro, se debe remover cualquier exceso de lechada o mortero que se haya formado sobre la superficie. Enseguida, se puede remover la tira y se debe nivelar cualquier irregularidad en la junta. Enseguida se retiran las cimbras y se les coloca sobre la junta de construcción para efectuar el siguiente colado. Para prevenir cualquier fuga de mortero o lechada que pueda manchar el muro subyacente, se deben usar juntas donde las cimbras estén en contacto con el concreto endurecido previamente colado.

Una variación de este procedimiento es con el empleo de chaflanes o bien de tiras de madera en forma rectangular (incluso biseladas) de 1" en vez de la tira de madera, para formar una ranura en el concreto para efectos arquitectónicos. Si se usan chaflanes, la junta se debe hacer en el punto de la V. Si se usan las rectangulares o biseladas, lo recomendable es hacer la junta en el borde superior de la cara interior de la tira.

Una vez que el proceso de colado del elemento ha concluido se procede al acabado del elemento basado en el proyecto de forma tal que se tenga cuidado en la limpieza de la sección contigua en el acero por el concreto que pudo haber caído por haber salpicado durante el colado, así también se debe cuidar que no se tengan fugas de agua o mejor conocido con lagrimeo del concreto porque una pérdida de fluido puede provocar mayor agrietamiento en el elemento, también se debe tener a la mano agua o curacreto suficiente

para darle el curado a la pieza, en este caso se decide usar telas que retengan el agua por más tiempo y que se tenga que hacer el riego de estas de manera frecuente para evitar la pérdida de humedad y así prevenir grietas. A continuación se muestra la ilustración con la tela colocad en toda la zapata durante el curado.

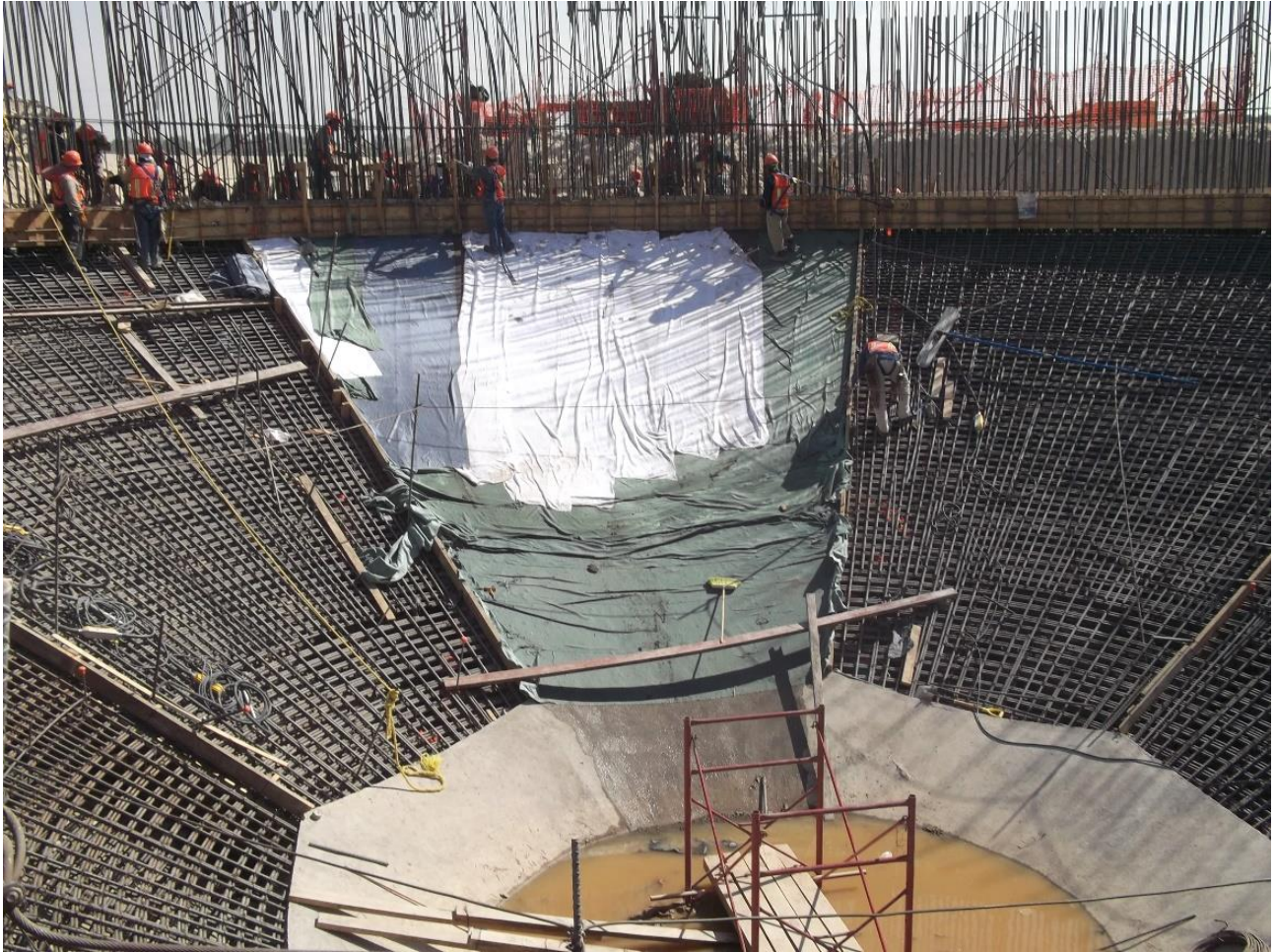


ILUSTRACIÓN 36 CURADO DE UNA SECCIÓN DE LA ZAPATA

- **Relleno de juntas de pisos**

Existen 3 alternativas para tratar las juntas:

- Llenarlas
- Sellarlas
- Dejarlas abiertas (sin tratamiento)

El movimiento de las juntas de contracción en los pisos generalmente suele ser muy pequeño. Para ciertos usos comerciales e industriales, se pueden dejar las juntas sin rellenarlas o sin sellarlas.

El relleno de las juntas es necesario cuando los pisos se encuentran bajo condiciones de humedad, requisitos de higiene y control de polvo o tráfico considerable de vehículos pequeños con ruedas duras como son los montacargas.

La diferencia entre sellador y un relleno es la dureza del material; los rellenos son mucho más rígidos que los selladores y dan soporte en los bordes de la junta.

En muchos sitios donde el tráfico es ligero, materiales resilientes tales como los selladores elastoméricos de poliuretano resultan satisfactorios.

No obstante, áreas de tráfico pesado requieren soporte en los bordes de las juntas para prevenir que se despostillen en las juntas aserradas. En estos casos, se debe usar un epoxi semi rígido de buena calidad o un relleno de poliuretano con una dureza Shore A-80 o D-50 conforme a la norma ASTM D2240. El material debe aplicarse en toda la profundidad del corte aserrado y nivelado con la superficie del piso.

Las juntas de aislamiento tienen como finalidad absorber el movimiento y por lo tanto se deben usar selladores elastoméricos flexibles para mantener los materiales extraños fuera de las juntas.

#### 4.2.3 MUROS DESLIZADOS

Los preparativos de los muros inician con la solicitud del acero, los cables torones, los pasos de tuberías, equipo hidráulico de levantamiento, cantidad y tipo de mezcla de concreto con sus pruebas previas de colocación y de temperatura, personal de habilitado de acero y cimbra, carretillas, deposito temporal de recepción de concreto, bases y sujetadores temporales, vibradores, plantas de energía eléctrica, bombas de concreto, etc, todo esto permite tener un inicio más controlado buscando reducir los riesgos de trabajo durante el proceso de deslizado.



ILUSTRACIÓN 37 HABILITADO DE CIMBRA PARA MUROS DESLIZADOS

Derivado de la cantidad y calidad de los trabajos que se deben presentar, se usará cimbra de tipo modular la cual formará el anillo exterior e interior del tanque teniendo en cuenta que se colocarán plataformas de trabajos de tal manera que se pueda dar continuidad al colado y que cualquier elemento que se requiera, se podrá colocar durante el proceso de colado. Estos tableros se construirán siguiéndola forma del perímetro tanto interior como exterior del tanque, y de una longitud adecuada para poder ser manipulados correctamente por los trabajadores.



ILUSTRACIÓN 38 PREPARATIVOS PARA EL COLADO DE LOS MUROS DESLIZADOS (CONAGUA, COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2010)

Previo trazo topográfico de los perímetros interior y exterior del muro sobre la cimentación, se colocarán los tableros de las cimbras deslizantes, y se van uniendo por medio de las cerchas superior e inferior. Una vez colocado, plomeado y fijado el molde, se va colocando el equipo de izaje (piernas, yugos, guías) y el equipo hidráulico (mangueras válvulas, gatos, bombas), para finalmente colocar las cabrillas interiores para rigidizar el molde, y las plataformas interior y exterior.

Como partes iniciales antes de la colocación del molde, se coloca el acero horizontal hasta una altura de 1.20 m. para librar el molde, y los traslapes verticales. El resto del acero se va colocando durante el colado continuo, de acuerdo con la velocidad que vaya subiendo el molde, el acero se sube a la plataforma con la ayuda de la torre grúa. Se debe de cuidar que durante el deslizado el acero se vaya colocando con la separación que indican los planos. En la ilustración 37 se puede observar como previo a la colocación del molde se tiene preparados hasta una altura de 1.20m el acero horizontal y vertical, también se han colocado las tuberías de los cables torones verticales y transversales, separadores de acero y la banda de PVC que se quedó a mitad de sección colada por el vertido de concreto en la zapata.



ILUSTRACIÓN 39 COLOCACIÓN DEL MOLDE DE CIMBRA PARA MURO

Junto con la colocación del acero y previo al cierre del molde se deben de quedar colocados los ductos de postensado que estén localizados en la sección transversal desde 0.00 hasta 1.20 m. El resto de los ductos se van colocando durante el colado continuo, asegurándose que queden en nivel que nos marca el proyecto. Los ductos se suben a la plataforma auxiliándonos con la torre grúa.



ILUSTRACIÓN 40 EQUIPO DE IZAJE, BOMBA DE CONCRETO Y EQUIPO DE SUMINISTRO DE CONCRETO

Previo a la colocación de la cimbra deslizante interior, se construirá una plataforma de trabajo en la parte interior del tanque a base de escuadras de madera y tablón. El perímetro de la cimbra interior se divide en 8 secciones así como la exterior colocando posteriormente la cimbra en el área de pilas. Durante el montaje de la cimbra deslizante se deberá revisar la geometría por medio de trazos topográficos, la cimbra deberá quedar sellada, alineada y ensamblada correctamente para su buen funcionamiento

El procedimiento para el montaje de la cimbra deslizante del muro deberá ser de la siguiente manera:

- ✓ Trazo de cimbra interior y exterior para recibir el molde.
- ✓ El montaje de la cimbra deslizante inicia con la cimbra interior y posteriormente la cimbra exterior.
- ✓ Colocación de piernas y canales (yugos) en cimbra interior y exterior.
- ✓ Montaje de estructura para plataforma interior.
- ✓ Montaje de escuadras para plataforma exterior.

- ✓ Colocación sobre estructura de paneles de madera para plataforma interior.
- ✓ Colocación sobre escuadras exteriores polín y paneles de madera para plataforma exterior.
- ✓ Colocación de jenge o colgante en plataforma interior y exterior.
- ✓ Colocación de barandal en plataforma interior y exterior.
- ✓ Montaje de tolva para repartir el concreto.
- ✓ Colocación de canales para puenteo de yugos.
- ✓ Colocación de sistema eléctrico.
- ✓ Colocación del sistema hidráulico.
  - Colocación de porta gato (gatos, camisas, barra de trepa, barras de nivelación, etc.)
  - Colocación de conexiones del equipo hidráulico.
- ✓ Colocación de andamio perimetral en plataforma deslizante para la colocación de carretes que llevan el cable postensado, incluyendo las guías para acero vertical.
  - Colocación de carretes en andamio con grúa.
  - Pruebas del sistema hidráulico.
  - Pruebas del sistema eléctrico para iluminación interior y exterior.

Una vez que se tienen todos los elementos en su posición y verificados por la topografía en coordenadas y alineamientos, se dispone a la liberación del elemento por parte de la supervisión apoyado en el formato de liberación, se realiza un chequeo de los puntos topográficos y recubrimientos del acero para que el supervisor de obra civil dé el visto bueno para solicitar el concreto a la planta y se programe la logística de la descarga dentro del molde, con lo que se procede una vez teniendo las bombas y las unidades con el volumen requerido previamente cuantificado y solicitado con las características específicas para el elemento llena el molde de 1.20 m. con una secuencia circular y a una velocidad tal que quede completamente lleno en aproximadamente 2.5 a 3 horas.



ILUSTRACIÓN 4 1 IZQ. TOLVA RECEPCIÓN DE CONCRETO. DER. VACIADO POR MEDIO DE CARRETILLA

El concreto será depositado por una bomba pluma, en una tolva colocada en la plataforma, de donde se suministra concreto que lo colocan directamente en el molde, el concreto se va vibrando y compactando durante el proceso, tal y como se muestra en la ilustración 39, donde se observa la recepción del concreto en tolva, mientras se van llenando las carretillas para la colocación y vibrado del concreto dentro del molde. Cuando el molde esté lleno, y el concreto empiece a fraguar en el fondo, se inicia el movimiento ascendente del molde, poniendo a funcionar el sistema hidráulico, y se va controlando la velocidad de izaje de acuerdo con la velocidad de fraguado del concreto.

- El volumen requerido de concreto para el llenado del molde es de  $50\text{m}^3$  y se planea hacerlo en 4 horas en capas de 30cm con 1 bomba telescópica que distribuirá el concreto en tolva. Se requiere un suministro promedio de  $8\text{m}^3$  cada 60min aproximadamente. Una vez concluido el llenado se tendrá que hacer una pausa hasta lograr el fraguado inicial de la primera capa, después de lo cual se iniciará el izaje.
- En clima frío o condiciones climáticas adversas, deberá protegerse el concreto que sale en la parte inferior del molde. Se recomiendan lonas en el perímetro de la plataforma inferior exterior.
- Iniciado el deslizado es necesario colocar el acero de refuerzo y embebidos según el proyecto. El proceso de izaje será subiendo entre 12 a 15 cm/hr dependiendo del fraguado del concreto- el molde será llenado continuamente en capas de 20 hasta 30cm, el concreto será compactado mediante equipo vibratorio. En las plataformas colgantes se ubicarán los oficiales de albañilería para realizar el acabado del concreto y en caso de ser necesaria alguna reparación.



- Para bajar a la plataforma interior inferior (lugar donde se da el acabado al concreto), se contará con una escotilla, y para el acceso a la plataforma exterior inferior será por medio de la escalera de acceso. Esta misma escalera se utilizara para el ascenso y descenso de personal. Para acceder al interior de la plataforma de trabajo, se colocara una escalera de aluminio debidamente protegida y anclada.
- Los traslapes de turnos se realizarán en un tiempo no mayor de 30min. Entre uno y otro.
- El agua para consumo del personal será potable y estará almacenada en un depósito que cumpla con los estándares apropiados para su utilización, será ubicado en forma estratégica para su consumo en la plataforma.
- Los desperdicios producidos en el área de trabajo, serán ubicados en tanques o tambos de basura colocados en puntos adecuados para su efectiva recolección y continuo retiro.
- Se deberán instalar sanitarios portátiles cerca del área del deslizado 1 por cada 10 trabajadores.

El llenado del molde iniciará en el lado opuesto de la tolva formando dos grupos de carretilleros, llenando el molde en capas perimetrales del muro dividido en 2 secciones distribuyendo el concreto y respetando el espesor de la capa en forma uniforme. El suministro del concreto que va de la bomba telescópica a la tolva de ahí a carretillas para ser colocado en todo el perímetro. Las capas deberán ser de 15 a 20 cm en el deslizado. El tiempo promedio de fraguado del concreto será de 4 hrs.

Las capas de concreto durante el llenado deberán iniciar y terminar en los mismos puntos, cuando se termine cada capa la persona encargada de la cuadrilla, le informará al encargado del concreto y coordinará que la siguiente cuadrilla termine para empezar con la siguiente capa.

Cuando se termine el llenado de la cimbra, se revisará el concreto endurecido, el cual deberá tener por lo menos 40cm de fraguado para iniciar el deslizado. Es importante señalar que el primer impulso para elevar la cimbra deslizante será entre los 10 a 15cm de fraguado inicial para evitar que se adhiera la cimbra con el concreto. El rendimiento que se puede presentar variará dependiendo de la velocidad de colocación del acero de refuerzo, revenimiento y fraguado del concreto, además de la humedad que se presente en el

medio ambiente y la temperatura del mismo. Durante el colado la limpieza del molde es importante y se llevará a cabo con herramienta especialmente diseñada para esta tarea.

En la medida en que el molde va subiendo, se va llenando de concreto con el mismo sistema, asimismo se sigue colocando el acero y los ductos de postensado. Por debajo de las plataformas, en la parte inferior del molde, tanto en el interior como en el exterior, van plataformas colgantes donde trabajadores están dando un acabado final al muro de concreto que va saliendo así como la colocación de la membrana de curado. Antes de llegar al final del deslizado se colocarán los embebidos para la colocación de la plataforma perimetral exterior, y para la plataforma interior, necesarias para la colocación del concreto de la losa tapa. Una vez que el molde llegue al nivel de terminación del muro, se detiene, se enrasa, y se termina, durante el proceso de la terminación de la etapa de vaciado de concreto se preverá la colocación de la membrana tipo HDPPE de 3 mm de espesor.



ILUSTRACIÓN 42 MURO DESLIZADO Y TRABAJOS CONTINUOS.

Tal como se puede ver en la ilustración 42, el trabajo será continuo. Siempre con el apoyo de personal suficiente que va llevando las actividades de colocación de acero, ductos de postensado, pasos de tuberías en función del proyecto, y también personal para el continuo suministro de concreto, así como la supervisión de obra civil y brigada topográfica que este continuamente monitoreando la verticalidad y ubicación de puntos estratégicos de control durante el proceso, algunos equipos auxiliares con iluminación artificial, permisos de trabajo por parte de seguridad por la altura que se alcanzara hasta el cierre del muro, también equipos de izaje y grúa auxiliar para el suministro de acero habilitado. La colocación del acero de refuerzo se realiza de acuerdo a planos aprobados para construcción de los diferentes niveles.

En el patio de habilitado de acero se almacenara el acero de refuerzo que se utilizara para el deslizado, este acero se suministrara en atados de 600 a 800 kg de peso máximo, previamente seleccionado y etiquetado para la etapa que corresponda y será trasladado por medio de plataforma móvil de camión de este almacén al área de influencia de la torre grúa, se colocara tabla de registro de recepción de tipo, cantidad y ubicación del acero que se esté suministrando para el digestor.

La operación de la cimbra deslizante; es por medio de bomba de aceite hidráulico tipo P-20 o P-40. Se alimenta un sistema de mangueras que forman un circuito en el que por medio de gatos de 6Ton levanta la estructura a razón de 1" por impulso provocando un deslizamiento vertical que llevara una velocidad promedio de 12 a 15 cm/hr, los gatos se apoyan en una varilla lisa llamada barra de trepa de longitud de 6 metros, la cual en el concreto fraguado dando el soporte del sistema de izaje. Debido a que el proceso de cimbra deslizante requiere conservar la verticalidad del sistema de izaje, será necesario que en la colocación de toda la plataforma e instalación de sistemas se verifique en su totalidad previo al inicio de los trabajos de colocación del concreto.



ILUSTRACIÓN 43 DESLIZADO DE MURO CARA EXTERIOR

El suministro de materiales como son: acero de refuerzo, servicio de agua y comida, accesorios para postensado y curado de concreto, etc. será por medio de la torre grúa, para lo cual la comunicación entre maniobristas y operador será por medio de radios portátiles y siguiendo la secuencia y prioridades que indique el residente en turno. Es recomendable tener una grúa móvil que se encuentre disponible en caso de emergencia.

En los muros deslizados se aplicará la membrana de curado en forma horizontal (2 capas) esto para dar una apariencia uniforme y cuidado del concreto por perdida de humedad. La mejor calidad del acabado la dará la continuidad de los trabajos en conjunto y la correcta dosificación del concreto. El nivel de terminación estará definido por niveles marcados en la barra de trepa, el cual será marcado por topografía previamente identificado, y servirá como referencia para la colocación del acero final y el acabado del concreto en los muros.

Terminada la colocación del concreto en muros, se deberá dejar un acabado rugoso por medio de escarificado con medios mecánicos de bajo impacto y preparada la junta constructiva para la colocación del concreto de la losa superior. El curado del concreto continuará hasta detener la operación del molde. Para evitar detalles de reparación en el concreto el final del molde, utilizaremos vibradores tantos necesarios como se requiera hasta la última capa de concreto y hasta que el molde deslizante se detenga totalmente. En el último metro de deslizado deberá cambiarse a un fraguado mínimo de 6 horas y hacer un re-vibrado posterior al llenado para evitar el mal acabado.

Una vez terminado el deslizado, se desmontan las plataformas, los gatos, los sistemas hidráulicos, y se van bajando. Finalmente se seccionan las cabrillas, y se van bajando con la grúa, se secciona el molde, y se baja con la grúa, hasta quedar el muro limpio.

<b>Recursos materiales y equipos a utilizar para muro deslizado</b>
Concreto estructural clase 1 con una resistencia $f'c = 35 \text{ kg/cm}^2$ (35 MPa)
Revenimiento= 14 cm mínimo y máximo de 17.5 cm
Temperatura máxima= 30 °C
Tamaño máximo de agregados= $\frac{3}{4}$ " de diámetro
Tiempo de fraguado= de 4, 6 y 8 horas
Volumen total= 865m <sup>3</sup>
Volumen de inicio de llenado del molde= 50 m <sup>3</sup>
Producción requerida de suministro para llenado de molde= 16 m <sup>3</sup> /hr
Tiempo de llenado de molde= 50m <sup>3</sup> / 16m <sup>3</sup> /hr = 3hrs
Producción requerida de suministro durante deslizado para capas de 0.15m/hr = 8 m <sup>3</sup> /hr
Frecuencia de llegada de= 25 a 30 minutos (de 4m <sup>3</sup> cada unidad)
Camiones revoladora= 3 unidades + 1 en espera, total de 4 unidades
Vibradores= 4 eléctricos de 1½" de diámetro + 4 de reserva
Curado= membrana de curado de base agua
Camioneta de 3 Ton
Radios de intercomunicación
Gatos hidráulicos de 3 Ton y 6 ton
Tubo de trepa de 1 ¼" y 1"
Equipo de izaje (cimbra deslizando y estructura para rigidez)
1 Grúa móvil de 60ton
1 Bomba telescópica grande y 1 bomba de respaldo

TABLA 10 RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS NECESARIOS PARA EL DESLIZADO



ILUSTRACIÓN 44 TANQUE DIGESTOR EN PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS. (CONAGUA, COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2010)

#### 4.2.4 LOSA TAPA

Al término del deslizado se deberá preparar una plataforma de trabajo perimetral, en la cara exterior del muro, la cual deberá ser por medio de escuadras metálicas fijadas al muro perimetral con anclaje recuperable. El personal especializado en maniobras similares deberá entrar al interior del tanque por medio de canastilla para personal y la torre grúa, las instrucciones serán guiadas por radio entre el jefe de montaje y el operador del equipo. Se colocara una columna central seccionada en partes para su fácil montaje, el personal de maniobras coloca los bulones de fijación entre cuerpos de columnas.

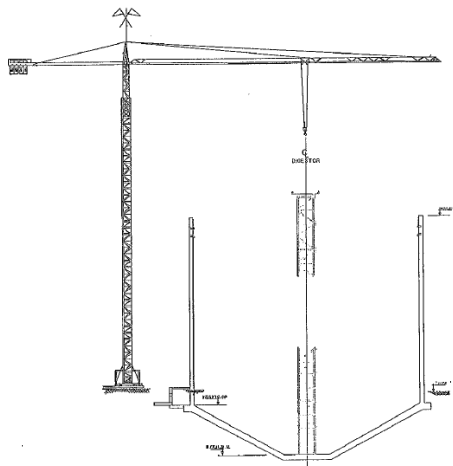


ILUSTRACIÓN 45 ESQUEMA DE COLOCACIÓN DE ESTRUCTURA CENTRAL DE SOPORTE



ILUSTRACIÓN 46 ESTRUCTURA PROVISIONAL DE SOPORTE PARA LOSA TAPA

Una vez colocada y fijada la estructura central, se procede a colocar la estructura superior la cual consiste en un sistema de armaduras las cuales se conectan en la parte del muro a placas fijadas que serán instaladas durante el deslizado de muros y se apoyan en la columna central. Sobre la estructura se colocara andamio de alta resistencia, la cual tendrá la geometría requerida en los planos de proyecto; para ello se requieren trazos y niveles de referencia que ubicará la brigada de topografía. Ya con los trazos definidos y las alturas de andamios (pre-armados en piso) se suben por medio de torre grúa. Dichos andamios deberán estar codificados con una etiqueta para su instalación de acuerdo a los trazos y el ensamblado estará verificado por personal especializado y por el supervisor de seguridad de montaje.

El andamio de carga deberá estar armado de acuerdo a las instalaciones del proveedor y planos de instalación definidos por ingeniería, deberán estar enlazados los cuerpos unos con otros rigidizándolos para evitar desplazamientos.

Auxiliándose de la torre grúa, se colocará una torre central de 2 x 2 metros, compuesta de ángulo y tubular, en tramos de 3 metros, hasta un nivel de aprox. 2 metros por debajo del nivel final del muro. Posteriormente, se colocan 22 armaduras en cajón, que se apoyan por un lado en la columna central, y por el otro, en los embebidos que dejamos en el muro durante el deslizado. Estas armaduras formaran una plataforma donde se apoyará el apuntalamiento de línea para soportar la losa.



ILUSTRACIÓN 47 OBRA FALSA PARA EL COLADO DE LA LOSA TAPA (CONAGUA, COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2010)

Con los andamios colocados en la estructura, se coloca cimbra radialmente modulada formada por tableros previamente armados con triplay y barrote. Estos tableros se apoyarán en las vigas de carga del sistema de andamios que descansarán sobre los gatos de la estructura de soporte. La cimbra de contacto estará formada por hojas de triplay de 5/8" apoyadas sobre polín de madera de 4" x 4", esto formará el cono, que estará soportado por el apuntalamiento. Sobre la cimbra de contacto, se colocará una protección de HDPE (Studliner y Polylock) 3 mm, para proteger el concreto en el interior del tanque. Los tableros de cimbra se instalarán de abajo hacia arriba perimetralmente y se revisará el ángulo de inclinación por medio de mediciones topográficas y se ajustará a las medidas y niveles de proyecto



ILUSTRACIÓN 48 COLOCACIÓN CIMBRA DE CONTACTO DE LOSA TAPA

El armado de acero de refuerzo estará previamente habilitado de acuerdo a los despieces aprobados por la supervisión, antes de colocar el acero de refuerzo, se deberá colocar la protección de HDPE; los liner deberán estar unidos con termo fusión y con la geometría indicada en los planos de proyecto. La colocación del acero deberá cumplir con los diámetros, traslapes, limpieza y recubrimientos requeridos por proyecto. El acero de refuerzo es subido por medio de torre grúa y la cimbra perimetral es por medio de tableros de madera previamente armados.

La parrilla inferior del acero de refuerzo será colocada sobre la protección, colocando las silletas para dar el recubrimiento y teniendo cuidado de no dañar dicha protección. Posteriormente se colocan las silletas para dar separación a las perrillas y finalmente se arma la parrilla superior y las esperas para los elementos sobre la losa. Todo el armado se hará respetando las especificaciones, dimensiones y separaciones de proyecto.





ILUSTRACIÓN 49 COLOCACIÓN DE CONCRETO EN LOSA TAPA

El concreto será elevado con bomba pluma, y colocado en forma circular, dando vueltas al derredor del cono en capas de un ancho aproximado de 60 cm., se usaran dos vibradores para su compactación, y posteriormente se irá dando el acabado. En cuanto el fraguado del concreto lo permita, se colocara la membrana de curado.

En cuanto el concreto colocado adquiera una resistencia aprox. al 70% de su resistencia  $f'c$ , se procede al descimbrado, aflojando primeramente los tornillos niveladores, y sacando en seguida el triplay y los polines. En seguida se van desmontando las vigas de carga y los marcos del apuntalamiento. Después de sacar el apuntalamiento, se bajan las armaduras de la plataforma al fondo del tanque, luego se saca la torre central en tramos, y finalmente se sacan las armaduras con la torre grúa. Después de esto, se hace limpieza en el interior del tanque.

#### 4.2.5 SISTEMA DE POSTENSADO

El postensado horizontal está compuesto por dos familias:

- Familia 1: cables A y B (anclan bloques 1 y3) 2\*19 tendones de 12 cordones de  $\varnothing$  0.6"
- Familia 2: cables C y D (anclan bloques 2\*4) 2\*19 tendones de 12 cordones de  $\varnothing$  0.6"

Todos los tendones horizontales se tensarán por ambos extremos



ILUSTRACIÓN 50 CABLE TORÓN UBICADO EN POSICIÓN VERTICAL

Requisitos de proyecto para postensado		
Descripción	Mágnitud	Unidad
Tensión mínima de ruptura	1860	N/mm <sup>2</sup>
Limite elástico convencional	1640	N/mm
Módulo de elasticidad del acero	200000	N/mm
Coefficiente de rozamiento en curva	$\mu$ 0.20	
Ondulación parasita	K:0.0008	1/m
Perdidas por penetración de cuñas	6	mm
Perdidas por relajación a las 1000hrs al 0.7 de la ruptura	<2%	
Área de la sección transversal de un tendón	140	mm <sup>2</sup>

TABLA 1 1 REQUERIMIENTOS PARA POSTENSADO

Postensado vertical: está compuesto por 136 tendones de 4 0.6", se tensarán únicamente desde el extremo superior.



ILUSTRACIÓN 51 COLOCACIÓN DE CABLES TORONES VERTICALES

## Proceso de tensado

- Todos los tendones de presfuerzo que afecten pasos o ventanas en el muro quedarán pendientes de tensar.



ILUSTRACIÓN 52 EQUIPO APLICÁNDOLE TENSIÓN EN CABLES TORONES VERTICALES

### Fase 1

- A todos los tendones verticales se les aplicara el 100% de la fuerza total de tensado siguiendo un patrón simétrico por tendones diametralmente opuestos.

### Fase 2

- Se tensarán simultáneamente desde los bloque 1 y 4 los cables A-B y C-D respectivamente. En cada bloque de tensado de los cables se realizara de arriba hacia abajo alternadamente. En esta fase la carga de tensado será en un 100%

### Fase 3

- Se tensarán simultáneamente desde los bloques 2 y 3 los cables C-D y A-B respectivamente. En cada bloque el tensado de los cables se realizará de arriba hacia abajo alternadamente, En esta fase la carga de tensado será igual a la fuerza total de tensado 100%

### Fase 4

- Tensar al 100% todos los tendones horizontales y verticales pendientes
- Alargamientos



ILUSTRACIÓN 53 CUÑAS DE PENETRACIÓN

Los alargamientos totales esperados, antes de la penetración de cuñas (acuñamiento) son:

- Fase 1 12 0.6" N=213mm
- Fase 2 12 0.6" N=34mm
- Fase 3 4 0.6" N=147mm

Recomendaciones referentes al tratamiento y control de calidad del postensado:

El control de calidad deberá iniciar desde la revisión de los planos de ingeniería aprobados para su construcción en su última versión

Los materiales suministrados y estar físicamente en buen estado

Los materiales de postensado deberán estar protegidos contra la interperie y deberá seguirse el procedimiento de preservación de productos especiales.

Los elementos de presfuerzo serán colocados por personal especializado para dicha actividad

Se deberá complementar con un instructivo de trabajo, los datos y requerimientos de colocación de presfuerzo y hacerlo extensivo al personal de inspección, supervisión e instalación del presfuerzo

Durante la colocación del anclaje de postensado vertical se deberá verificar por medio de trazos y niveles topográficos para la liberación del colado de cimentación

Todas las inspecciones de colocación de ductos, dimensiones, niveles, armado y detalles de instalación durante el deslizado de muros debe ser supervisados por el residente especializado y apoyado por la supervisión de topografía y supervisión de control de calidad se aprobara la correcta colocación de los ductos.

Los equipos de medición para el proceso de tensado deberá contar con su certificado de calibración y estar en condiciones óptimas de almacenaje y operación.

El proceso de tensión de los tendones tanto vertical como horizontal deberán de contar con plan de inspección y pruebas, así como de hacer registros de inspección, serán la base documental de aceptación del concreto pres forzado.

#### 4.2.6 SEGURIDAD E HIGIENE DURANTE LOS TRABAJOS

Seguridad e higiene durante los trabajos: Para el desarrollo de los trabajos se contara siempre con un supervisor de seguridad el cual, con el apoyo de todo en personal vigilara que se cumpla el reglamento de seguridad, teniendo en cuenta entre otros los siguientes puntos:

- ✓ Antes de iniciar los trabajos se deberán contar con el análisis de riesgos correspondientes al deslizado de los muros en tanques digestores.
- ✓ Utilización continua del Equipo De Protección Personal por todas las personas que se encuentren en el área (casco, zapatos con casquillo, chaleco) y lentes y guantes cuando la tarea a realizar así lo amerite.
- ✓ Prohibido el acceso del personal sin arnés de seguridad, en las zonas abiertas al vacío. Sin protección de barandas.
- ✓ Prohibido el paso de personal por debajo de cargas en movimiento.
- ✓ En el caso de trabajos en altura, la utilización obligatoria de equipo contra caídas (arnés, cuerda de vida, bandolas) o barandales cuando sea posible.
- ✓ En el izaje de materiales y traslados de los mismos verificar que las cuerdas (eslingas) se encuentren en óptimas condiciones
- ✓ Serán retiradas de las zonas de alturas las personas con síntomas de vértigo, pánico o nerviosismo.

- ✓ No se permitirán objetos sueltos en el área de plataforma, que puedan caer por descuido y provocar accidentes.
- ✓ Se contará con transporte al pie de obra para cualquier emergencia.
- ✓ Contar con los recursos para asistencia en alturas tales como canastillas de rescate de primeros auxilios.
- ✓ Se deberá contar con una ambulancia equipada con chofer durante todo el deslizado.
- ✓ Se deberá hacer una inspección a las escaleras y andamios verificando su funcionamiento adecuado.
- ✓ Los equipos de izaje como grúa móvil, titán o hiab deberán pasar checklist para permanecer en óptimas condiciones de funcionamiento.
- ✓ Para el caso de que se tengan varillas como apoyos en los trazos o que queden expuestas, se deberán proteger con los capuchones de seguridad

De igual forma para el retiro de los residuos propios de la construcción se considerará áreas destinadas para el acopio de dicho material (acero, alambre, alambrón, concreto, etc.) con su debida clasificación de acuerdo a lo establecido en el reglamento de seguridad e higiene

#### 4.2.7 FUERZA DE TRABAJO POR ACTIVIDAD Y POR TANQUE

ACTIVIDAD	CANTIDAD	
	OFICIALES	AYUDANTES
<b>Habilitado de Acero de Refuerzo.</b>	1	3
<b>CIMENTACIÓN:</b>		
<b>Armado de Acero de Ref.</b>	4	6
<b>Hab. Y Colocación de Cimbra</b>	4	4
<b>Colocación de Concreto</b>	4	8
<b>Descimbrado</b>	2	2
<b>MUROS:</b>		
<b>Armado de Acero de Ref.</b>	6	10
<b>Hab. Y Colocación de Cimbra</b>	4	6
<b>Colocación de Concreto</b>	2	10
<b>Colocación de Ductos</b>	1	2
<b>Acabados</b>	8	4
<b>Desmontajes.</b>	4	4
<b>LOSA TAPA:</b>		
<b>Apuntalamiento</b>	6	8
<b>Hab. Y Colocación de Cimbra</b>	6	8
<b>Colocación de Concreto</b>	4	8
<b>Desmontajes.</b>	6	8

TABLA 12 FUERZA DE TRABAJO PROYECTADA POR DIGESTOR



Secuencia y tiempos de construcción tomando en cuenta los 30 tanques digestores

	<b>No. DE TANQUE</b>	<b>SEMANA</b>	
		<b>INICIA</b>	<b>TERMINA</b>
<b>1.-</b>	DG-820	1	14
<b>2.-</b>	DG-816	2	15
<b>3.-</b>	DG-818	4	17
<b>4.-</b>	DG-814	5	18
<b>5.-</b>	DG-829	7	20
<b>6.-</b>	DG-825	8	21
<b>7.-</b>	DG-831	10	23
<b>8.-</b>	DG-827	11	24
<b>9.-</b>	DG-828	13	26
<b>10.-</b>	DG-824	14	27
<b>11.-</b>	DG-826	16	29
<b>12.-</b>	DG-822	17	30
<b>13.-</b>	DG-821	19	32
<b>14.-</b>	DG-823	20	33
<b>15.-</b>	DG-817	22	35
<b>16.-</b>	DG-819	23	36
<b>17.-</b>	DG812	20	33
<b>18.-</b>	DG-810	21	34
<b>19.-</b>	DG-813	23	36
<b>20.-</b>	DG-815	24	37
<b>21.-</b>	DG-809	26	39
<b>22.-</b>	DG-811	27	40
<b>23.-</b>	DG-808	29	42
<b>24.-</b>	DG-806	30	43
<b>25.-</b>	DG-804	32	45
<b>26.-</b>	DG-805	33	46
<b>27.-</b>	DG-807	35	48
<b>28.-</b>	DG-803	36	49
<b>29.-</b>	DG-802	38	51
<b>30.-</b>	DG-801	39	52

TABLA 13 PROYECCIÓN DE TRABAJOS PARA TANQUES BIODIGESTORES

## Relación de equipo a utilizar en la construcción de los tanques biodigestores

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	NÚMERO DE EQUIPOS A PARTIR DE LA SEMANA.....						TOTAL DE
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	Equipos
GRÚA TORRE P-36	4	10	16	23			4
MOLDE PARA MURO DESLIZANTE	4	5	7	8			4
EQUIPO HIDRÁULICO P/DESLIZADO	5	6					2
EQUIPO P/APUNTALAMIENTO LOSA TAPA	8	9	11	12	14	15	6

TABLA 14 EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TANQUES BIODIGESTORES

### 4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

Para la PTAR Atotonilco se contempla la construcción de treinta (30) biodigestores, los cuales se localizan en la plataforma 20 con NTT 2127.00 y plataforma 22 con NTT 2144.00 por tanto y considerando los niveles de desplante quedan divididos en dos zonas, siendo la geometría idéntica para todos ellos, salvo por la elevación del nivel de cimentación y la posición de entrada de las tuberías.

Se trata de grandes depósitos cilíndricos semienterrados de 25.15 m de diámetro interior y 34.00 m de altura con fondo y tapa de forma tronco cónica, proyectados con capacidad para almacenar 13,000m<sup>3</sup> de lodo, el peso del digestor considerando su geometría, se presenta en la siguiente tabla:

Elemento	Dimensiones generales de digestor	
	Dimensión	Unidad
Diámetro interior	25.15	m
Espesor de muro	0.45	m
Espesor losa de cimentación	0.80	m
Espesor de la cúpula	0.30	m
Altura de cono de la losa de cimentación	5.7	m
Altura con fondo y tapa	34	m
Altura de muro	21	m
Capacidad de almacenamiento	13000	m <sup>3</sup>

TABLA 15 DIMENSIONES GENERALES DE TANQUE DIGESTOR

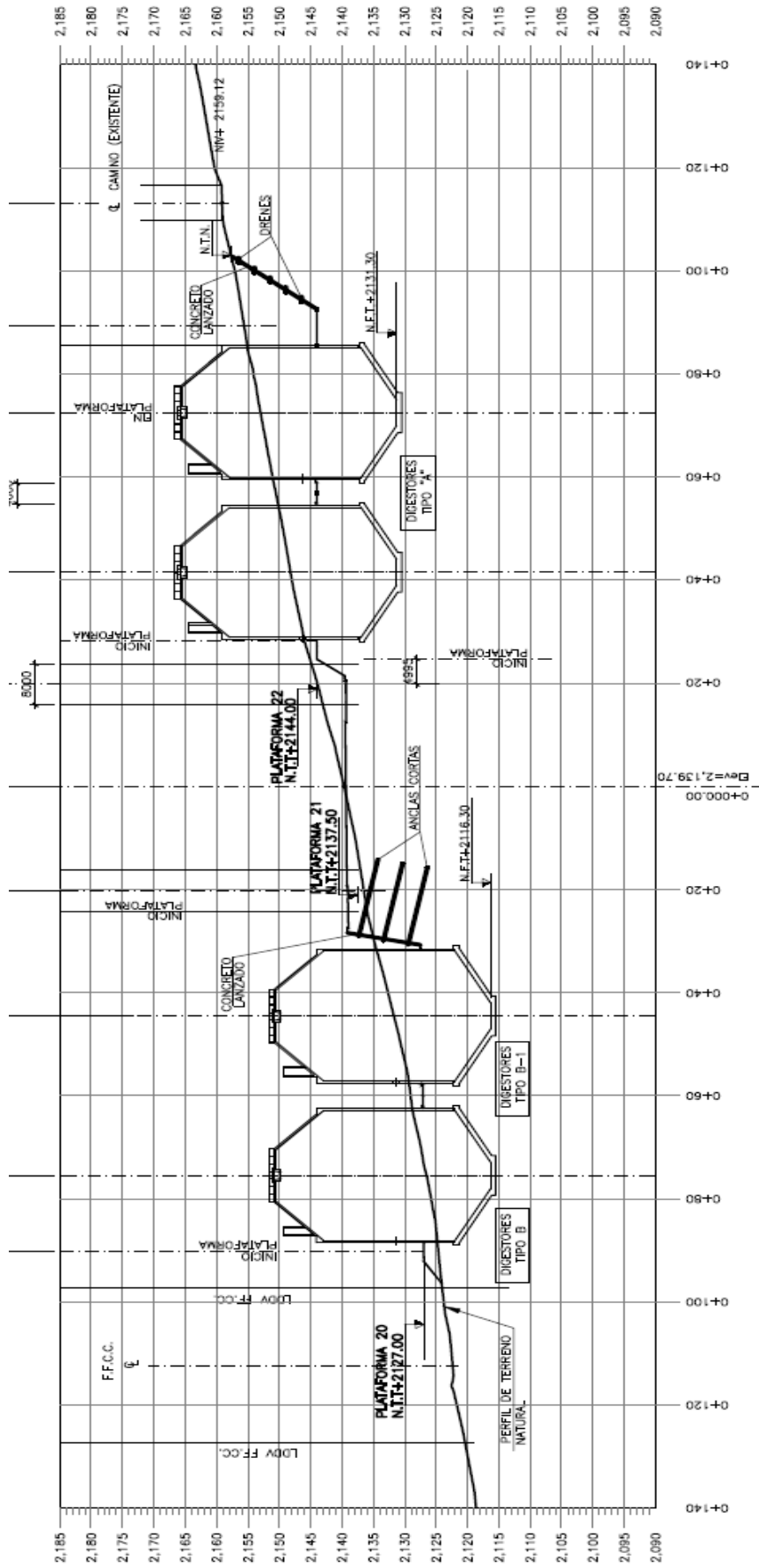
Peso del Digestor	R (m)	r (m)	h (m)	g (m)	A1 (cm <sup>2</sup> )	c (cm)	Peso (ton)
<b>Cúpula</b>	12.775	5.25	7.54	10.7	603.2	0.3	452
<b>Cimentación</b>	12.775	2.7	5.66	11.6	561.8	0.8	1124
<b>Tapón cúpula</b>		5.25			86.59	0.3	65
<b>Tapón cimentación</b>		2.7			22.9	0.8	46
<b>Muro</b>	12.775		21			0.45	1896
<b>Total</b>							2583

TABLA 16 PESO DE TANQUE DIGESTOR TIPO

De acuerdo con los planos dimensionales se tienen los siguientes niveles:

Digestor Tipo	Plataforma	NTT (Nivel de terracería terminada)	NFT (Nivel fondo Terminado)	NDC (Nivel de desplante de concreto)
<b>A</b>	22	2144.00	2131.30	2130.50
<b>B y B-1</b>	20	2127.00	2116.30	2115.50

TABLA 17 NIVELES EN LAS PLATAFORMAS DE DIGESTORES



**CORTE TRANSVERSAL DIGESTORES**  
 ESCALA 1:500

ILUSTRACIÓN 54 SECCIÓN TRANSVERSAL DE DIGESTORES

El proyecto estructural del fondo y tapa está resuelto con concreto reforzado y el fuste cilíndrico se resuelve con concreto postensado, todo el concreto será premezclado de planta y colado en sitio.

Para su construcción se rebajará la plataforma hasta la cota 2121.9 en la plataforma 20 y hasta la cota 2136.9 en la plataforma 22, correspondiente aproximadamente la cota de la parte superior de la forma troncocónica, y posteriormente se excavará con forma troncocónica la cimentación de cada digestor hasta la cota Nivel de Fondo Terminado (NFT) menos el grosor de hormigón de la losa. Una vez construido el digestor, se rellenará hasta la cota de urbanización definitiva. La tipología estructural de los digestores es de concreto reforzado, con un sistema de postensado horizontal y vertical en el muro con el fin de contrarrestar los esfuerzos de tensión y obtener un mejor comportamiento global de la estructura.

La cimentación de los tanques digestores de lodos queda desplantada sobre el terreno natural y estará formada por una losa de 80 cm de espesor de concreto reforzado de forma troncocónica. La losa de cimentación tiene una altura de cono de 5.7 m. Los muros se encuentran enterrados entre 5 y 7 m en el terreno hasta su empotramiento en la losa, por lo que la altura total enterrada desde el nivel de desplante es de 11.20 m aproximadamente. La construcción de la losa de cimentación se realizará en etapas, con la secuencia y detalle de junta de colado mostrada en planos, se recomienda que el periodo de tiempo entre colados adyacentes sea de 48 horas, mínimo.

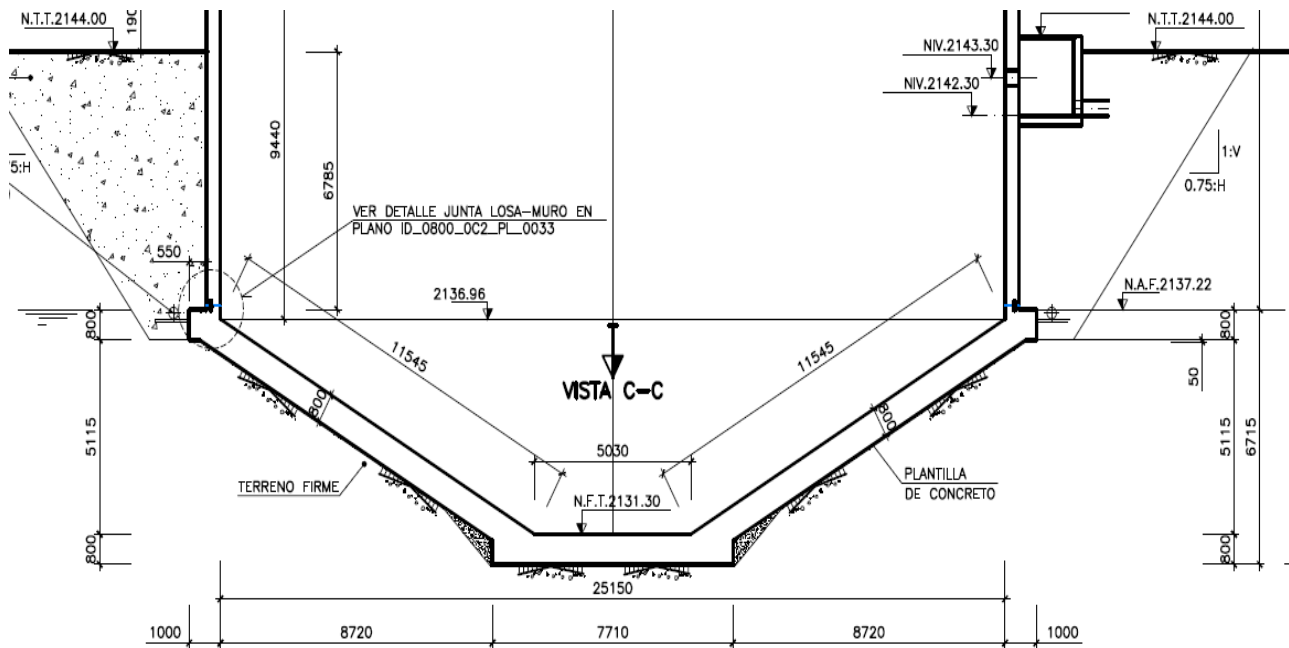


ILUSTRACIÓN 55 SECCIÓN INFERIOR DE DIGESTOR TIPO

Los muros del tanque a partir del nivel de desplante tendrán una altura estimada de 21 m, teniendo un espesor constante de 45cm. La cúpula del tanque es troncocónica, con un espesor de 30 cm. En los cuadrantes del círculo del tanque (0, 90, 180 y 270 grados) se colocan contrafuertes o pilastras con el fin de proporcionar apoyo a los gatos y anclajes de los ductos de postensado horizontal.

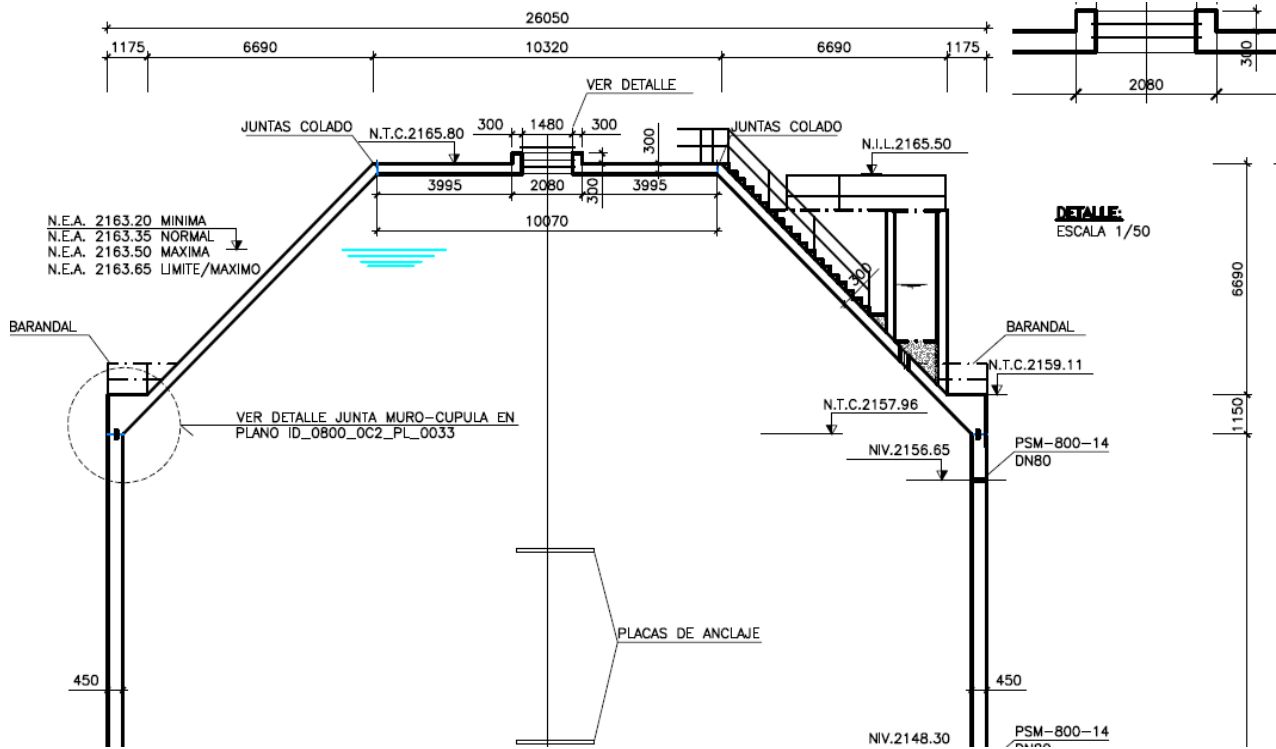


ILUSTRACIÓN 56 SECCIÓN SUPERIOR DE DIGESTOR TIPO

La solución de sistema postensado horizontal disminuye el espesor del muro. El sistema de postensado está compuesto por dos familias de cables: cada familia está formada por dos cables de postensado, y realizan un recorrido de 180 grados abrazando al tanque, teniendo sus extremos en cuadrantes diferentes. En alzado, las separaciones de las diferentes familias buscan optimizar la cuantía de acero a emplear, manteniendo en todo momento las paredes de concreto comprimidas. Las separaciones entre las diferentes familias van desde los 0.40 m hasta 1.0 m. Cada cable de postensado está conformado 12 torones de 0.6", en función de su posición, teniendo los ductos un diámetro exterior de 82 mm.

También se dispone en el digestor un postensado vertical con el fin de asegurar la estanqueidad, al mejorar la condición de agrietamiento así como el comportamiento general del tanque en situación sísmica. El postensado vertical está formado por cables torones de 4 $\Phi$ 0.6" dispuestos cada 60cm. En la parte externa del muro y de la cúpula se disponen 30 mm de material aislante de forma que se minimicen las pérdidas térmicas del digestor durante su operación. En la parte interna de la cúpula se dispone de un liner de 2.5 mm de espesor que ofrece la requerida protección al concreto frente a la agresividad de los gases del proceso.

### 4.3.1 ACERO DE REFUERZO

El acero de refuerzo es el que se coloca para absorber y resistir esfuerzos provocados por cargas y cambios volumétricos por temperatura y que queda ahogado dentro de la masa del concreto, ya sea colado en obra o precolado. El acero de refuerzo es la varilla corrugada o lisa; además de los torones y cables utilizados para pretensados y postensados. Es posible, también, reforzar el concreto ahogando perfiles rolados tales como vigas I, H, etc. Otros elementos fabricados de acero se utilizan como refuerzo del concreto: mallas, castillos y cadenas electrosoldados. Todos estos elementos son prefabricados.

Para efectos prácticos se considerarán: varillas corrugadas y lisas, mallas, escalerillas, castillos y cadenas electrosoldados.

Definición y características

**Varilla corrugada de acero.** Desde el no. 3 (3/8") al no. 12 (1 1/2"). Ésta ha sido especialmente fabricada para usarse como refuerzo en el concreto. La superficie de la varilla está provista de rebabas o salientes llamadas corrugaciones, las cuales evitan el movimiento relativo longitudinal entre la varilla y el concreto que la rodea.

**Alambrón.** Varilla de acero que está desprovista de rebabas o salientes o si los tiene, no cumple con las especificaciones de corrugación.

**Malla electrosoldada.** Es un elemento fabricado con acero grado 60, laminado en frío, corrugado o liso electrosoldado. Se utiliza para reforzar firmes de concreto y capas de compresión en sistemas de losas aligeradas de concreto. Tiene forma cuadriculada. Sus características físicas se presentan en la tabla 10.

Diseño	Calibre del alambre		Malla
	Diámetro (mm)	Arrea (cm <sup>2</sup> )	Área transversal (cm <sup>2</sup> /m)
<b>66-1/4-1/4</b>	6.35	0.32	2.08
<b>66-44</b>	5.72	0.26	1.69
<b>66-66</b>	4.88	0.19	1.23
<b>66-88</b>	4.11	0.13	0.87
<b>66-1010</b>	3.43	0.09	0.61

TABLA 18 CARACTERÍSTICAS DE MALLA ELECTROSOLDADA DE ACERO



El acero de refuerzo se clasifica de acuerdo al límite de fluencia, según la tabla 21.

Las características físicas de las varillas se encuentran en la tabla 22.

Grado	Límite de fluencia máxima	
	Newton/mm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>30</b>	294	3000
<b>42</b>	412	4200
<b>52</b>	510	5200

TABLA 19 CLASIFICACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO POR SU

LÍMITE DE FLUENCIA (HOLCIM APASCO, 2008)

Dimensiones nominales						
Numero	Peso/m	Diámetro (mm)	Diámetro (pulgadas)	Área (mm <sup>2</sup> )	Perímetro (mm)	Cantidad de varillas de 12m por tonelada
<b>2.5</b>	0.388	7.9	5/16	49.00	24.80	-
<b>3</b>	0.560	9.5	3/8	71.00	29.80	150
<b>4</b>	0.994	12.70	1/2	127.00	39.90	84
<b>5</b>	1.552	15.90	5/8	198.00	50.00	53
<b>6</b>	2.235	19.10	3/4	285.00	60.00	37
<b>8</b>	3.973	25.40	1	507.00	79.80	21
<b>10</b>	6.225	31.80	1 1/4	794.00	99.90	13
<b>12</b>	8.938	38.10	1 1/2	1140.00	119.70	9
<b>14</b>	12.147	44.50	1 3/4	1552.00	139.60	-
<b>16</b>	15.890	50.80	2	2026.00	159.60	-
<b>18</b>	20.076	57.20	2 1/4	2565.00	179.50	-

Nota 1. El número de designación de las varillas corrugadas corresponde al número de octavos de pulgada de su diámetro nominal.

Nota 2. El término peso utilizado en esta tabla debe considerarse más adecuadamente como masa refiriéndose a la cantidad de materia que contienen los cuerpos.

Nota 3. La información de esta tabla fue obtenida de la norma mexicana NMX-C-407 ONNCCE-2001 relativa a las varillas corrugadas y lisas de acero y a la información proporcionada por fabricantes de varillas.

TABLA 20 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS VARILLAS CORRUGADAS PARA REFUERZO DE CONCRETO (HOLCIM APASCO, 2008)

Recomendaciones específicas para el manejo del acero de refuerzo:

- ❖ El acero de refuerzo debe estar libre de oxidación, sin grasa, quiebres, escamas, deformaciones e imperfecciones que afecten su uso.
- ❖ La presencia de escamas u oxidación superficial no será causa de rechazo sólo si éstas desaparecen al limpiar el acero manualmente con un cepillo de alambre además de que la varilla cepillada cumpla con las características de dimensión (sobre todo del área transversal) y los requerimientos mecánicos especificados. Es aceptable la superficie áspera que se forma durante la oxidación ya que no impedirá la buena y eficiente adherencia entre el acero y el concreto.

- ❖ Los embarques, pedidos o remisiones de acero de refuerzo que se reciban en la obra, se estibarán de tal manera que se aíse al material de la humedad excesiva para evitar deformaciones; además de considerarlos como lotes independientes entre sí cuidando de no revolver un lote con otro, cuya calidad haya sido verificada o aprobada.
- ❖ Del material estibado se tomarán las muestras para las pruebas y en caso de que los resultados no sean satisfactorios o no cumplan con las normas de calidad establecidas, el material del lote completo será rechazado (ASTM-A-700 Practices for Packing, Marking and Loading Methods for Steel Products for Domestic Shipment).
- ❖ El acero de refuerzo debe estibarse y almacenarse por diámetros y grados en un lugar limpio, libre de contaminación y sobre alguna base para protegerlo contra la oxidación o cualquier otra afectación.
- ❖ Si por alguna circunstancia el acero de refuerzo que ha permanecido almacenado un tiempo considerable (o no se tiene certeza de su procedencia) se encuentra oxidado o deteriorado, se deben realizar una vez más, las pruebas de laboratorio necesarias para determinar si el acero es apto para utilizarse o no.
- ❖ Cuando las pruebas determinen que el grado de oxidación superficial no es tan grave, el retiro del polvo del óxido podrá hacerse mediante el uso de cepillo de alambre.
- ❖ Los procedimientos de limpieza por medios manuales anteriores se aplicarán para retirar de la superficie del acero de refuerzo residuos de lechadas, cemento, concreto o pintura antes de colar.
- ❖ Debe evitarse el contacto de sustancias grasosas con la superficie de las varillas. Si esto sucediese se limpiarán con solventes que no dejen residuos grasos.

- ❖ El acero de refuerzo no se debe doblar o enderezar de ninguna forma que pueda dañarlo.
  
- ❖ En aquellos casos en que sea necesario aplicar calor para doblar las varillas, la temperatura no debe ser mayor a 530°C y se debe dejar enfriar lentamente, sin inmersión, mediante la pérdida de calor por contacto con el medio ambiente. Esta práctica será válida si se realiza en el taller, donde se puede verificar y controlar la temperatura de doblado.
  
- ❖ Los dobleces en obra se deben hacer en frío.
  
- ❖ Si las varillas se encuentran parcialmente inmersas o ahogadas en el concreto, la temperatura de calentamiento debe estar entre los 315 y 400 °C.
  
- ❖ De acuerdo a sanas prácticas de construcción no se permite reenderezar y desdoblar varillas, ya sea por corrección de armado o para su reutilización.
  
- ❖ Las varillas se deben colocar y amarrar en los lugares indicados en los planos. Es importante verificar el alineamiento y colocación del acero antes de vaciar el concreto. Antes y durante el colado se debe evitar que las varillas se muevan de la posición especificada, mediante amarres, separadores, calzas, etc.
  
- ❖ El acero de refuerzo debe calzarse una vez colocado y armado para lograr el recubrimiento especificado. Se puede hacer con calzas prefabricadas de plástico o con calzas elaboradas de concreto o silletas de varilla. Estas últimas no deben utilizarse cuando el concreto estará expuesto directamente a los sulfatos, ya que las puntas de la silleta pueden funcionar como conductores para penetrar al concreto y dañarlo, a menos que las puntas tengan un recubrimiento plástico. No utilizar madera.

- ❖ Tomar en cuenta las siguientes tolerancias en la colocación y ubicación del acero de refuerzo (CSRI: Concrete Reinforcing Steel Institute. Recommended Practice for Planning Reinforcing Bars. Manual of Standard Practice)
  - ✓ En vigas y losas:  $\pm 6$  mm en la distancia especificada desde la cara de tensión o de compresión;  $\pm 25$  mm en el corte longitudinal y  $\pm 30$  mm en la colocación longitudinal.
  - ✓ En vigas y columnas, el peralte "d" (distancia entre el armado del lecho sujeto a compresión y el lecho sujeto a tensión) no es permisible que se reduzca más de 3 mm con relación a lo especificado, ni que se reduzca el recubrimiento más de 5 mm.
  - ✓ En cualquier elemento estructural el recubrimiento no debe variar  $\pm 5$  mm de lo especificado.
  - ✓ En armados críticos se recomienda especificar 75 mm más de longitud con relación a la mínima calculada para varillas, a fin de compensar la acumulación de tolerancias.
- ❖ Tomar en cuenta las siguientes tolerancias en los espaciamientos del acero de refuerzo (CSRI: Concrete Reinforcing Steel Institute. Recommended Practice for Planning Reinforcing Bars. Manual of Standard Practice).
  - ✓ En las losas anchas y en muros altos:  $\pm 13$  mm de espaciamiento entre varillas con relación a lo especificado.
  - ✓ En las vigas y columnas, el espaciamiento lateral y el espaciamiento entre capas múltiples de varillas no debe ser menor al especificado pero puede excederse 6 mm como máximo.

- ✓ En las columnas, la distancia libre mínima entre varillas paralelas será la que resulte mayor al dividir entre 1.5 veces el tamaño máximo del agregado y, para varillas del no. 2.5 al no. 8, de 38 mm y para varillas del no. 10 o mayores, 1.5 veces el diámetro nominal de la varilla.
- ✓ En las vigas y trabes, la distancia libre mínima entre las varillas paralelas será la que resulte mayor al dividir entre
- ✓ 1.5 veces el tamaño máximo del agregado y, para varillas del no. 2.5 al no. 8, de 38 mm y para varillas del no.10 o mayores, 1.5 veces el diámetro nominal de la varilla.
- ✓ En las vigas y columnas, el espaciamiento entre los estribos será  $\pm 25$  mm, pero es importante evitar que se acumule el error sucesivamente.
- ✓ Para muros y losas macizas (no reticulares o nervadas) el espaciamiento máximo entre los ejes del refuerzo principal será el que resulte menor entre 46 cm y 3 veces el espesor del muro o losa.
- ❖ Se permite el uso de paquetes de varillas de acero de refuerzo corrugadas paralelas y atadas para hacerlas funcionar como una unidad, debidamente amarradas y confinadas dentro de estribos. El número máximo de varillas en paquete es de 2. Es permisible tener traslapes en las varillas de estos paquetes a manera de escalonamiento: mínimo 40 veces el diámetro de la varilla que se trate. Este escalonamiento aumentará 20% para un paquete de 3 varillas y 33% para uno de 4. (HOLCIM APASCO, 2008)

Recomendaciones y requisitos para el habilitado y armado de traslapes y juntas:

- ❖ Todas las uniones de varillas se harán mediante traslapes con un empalme de 40 veces el diámetro de la varilla que se empalma, excepto cuando se determine otra especificación diferente.

- ❖ Los traslapes no deben coincidir con secciones de máximo esfuerzo. A menos que se tomen las acciones necesarias avaladas por el proyectista, como aumentar la longitud del traslape o especificar un refuerzo adicional a base de estribos alrededor y a lo largo de la longitud empalmada.
- ❖ La ubicación aceptable para un traslape es donde el esfuerzo de tensión sea menor. Ese lugar no debe excederse de 1/5 de claro desde los apoyos principales en los elementos estructurales.
- ❖ Es aceptable el traslape y amarre entre sí de las varillas desde el no. 2.5 al no. 10.
- ❖ Los traslapes no podrán hacerse entre varillas de diferente diámetro.
- ❖ Si se requiere dar continuidad a varillas mayores del no. 10 no es aceptable el traslape. En este caso es recomendable la conexión por medio de soldadura o por medio de conectores mecánicos avalados por el proyectista en estructuras.
- ❖ La especificación de resistencia para la junta soldada debe ser igual al 125% de la resistencia de fluencia del acero de refuerzo utilizado (Código AWS D12.1, Reinforcing Steel Welding Code. American Welding Society).
- ❖ Es deseable realizar pruebas físicas y radiográficas de las soldaduras para verificar la calidad y la eficiencia. Para tal efecto es importante revisar las condiciones contractuales y especificaciones que indiquen la obligatoriedad y la frecuencia para llevar a cabo estas inspecciones.
- ❖ Las conexiones a tope se ejecutarán con soldadura de relleno. El diseñador estructural del proyecto debe especificar el procedimiento más adecuado.
- ❖ Evitar traslapar o soldar más del 33% del acero de refuerzo en una misma sección.

Recubrimientos y colocación del acero de refuerzo de acuerdo a la normativa vigente:

- ❖ Para proteger a las varillas de los efectos del fuego y de la corrosión, el recubrimiento de concreto debe estar de acuerdo con el contenido de las tablas 13, 14 y 15.
- ❖ Durante el proceso del vaciado del concreto, las varillas deben colocarse y mantenerse de manera firme en su posición, forma, longitud y separación.

Tipo de exposición	Condiciones ambientales
<b>1</b>	Ambiente seco. Interior de edificios habitables. Componentes interiores que no se encuentran expuestos en forma directa al viento ni a suelos o agua. Regiones con humedad relativa mayor al 60% por un lapso no mayor a tres meses al año.
<b>2<sup>a</sup></b>	Ambiente húmedo sin congelamiento. Interior de edificaciones con humedad relativa mayor al 60% por más de tres meses al año. Elementos exteriores expuestos al viento pero no al congelamiento. Elementos en suelos no reactivos ni agresivos y/o en agua sin posibilidad de congelamiento.
<b>2<sup>b</sup></b>	Ambiente húmedo con congelamiento. Elementos exteriores expuestos al viento y al congelamiento. Elementos en suelos no reactivos ni agresivos y/o en agua con posibilidad de congelamiento.
<b>3</b>	Ambiente húmedo con congelamiento y agentes descongelantes. Elementos exteriores expuestos al viento, con posibilidad de congelamiento y/o exposición a agentes descongelantes. Elementos en suelos no reactivos o no agresivos, y/o en agua con posibilidad de congelamiento y agentes químicos descongelantes.
<b>4</b>	Ambiente marino. Elementos en zonas de humedad sumergidas en el mar con una cara expuesta al aire. Elementos en aire saturado de sales (zona costera)
<b>5<sup>a</sup></b>	Ambiente de agresividad química ligera (por gases, líquidos o sólidos). En contacto con agua. En contacto con suelo.
<b>5<sup>b</sup></b>	Ambiente de agresividad química moderada (por gases, líquidos o sólidos). En contacto con agua. En contacto con suelo.
<b>5<sup>c</sup></b>	Ambiente de agresividad química alta (por gases, líquidos o sólidos). En contacto con agua. En contacto con suelo.
<b>5<sup>d</sup></b>	Ambiente de agresividad química muy alta (por gases, líquidos o sólidos). En contacto con agua. En contacto con suelo.

Nota 1. Información obtenida de la norma mexicana NMX-C-403-ONNCE-1999 relativa al concreto hidráulico para uso estructural.

Nota 2. En todos los casos regirá la condición o combinación de exposición más agresiva.

TABLA 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE EXPOSICIÓN (HOLCIM APASCO, 2008)



Tipo de exposición	Recubrimiento mínimo (mm)	Recubrimiento mínimo (mm)
	Refuerzo normal	Presforzado
<b>1</b>	15	25
<b>2a y 2b</b>	30	35
<b>3 y 4</b>	40	50
<b>5a, 5b, 5c y 5d</b>	Ver nota 3	Ver nota 3

Nota 1. Información obtenida de la norma mexicana NMX-C-403-ONNCCE-1999 relativa al concreto hidráulico para uso estructural.

Nota 2. Los valores mínimos de recubrimiento deben incluir tolerancias para asegurar su valor bajo cualquier circunstancia. El valor de la tolerancia depende del control de calidad de la construcción. Con un adecuado control de calidad y un curado eficiente, la tolerancia es de 5mm; sin control de calidad debe incrementarse a 10 mm y si el curado es inadecuado a 20 mm.

Nota 3. Depende del tipo de ambiente en que se encuentre (ver tabla 25).

TABLA 22 RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS POR TIPO DE EXPOSICIÓN AMBIENTAL DEL CONCRETO ESTRUCTURAL. (HOLCIM APASCO, 2008)

Ubicación	Recubrimiento
<b>Concreto en contacto directo y permanente con el terreno o con el suelo</b>	75 mm
<b>Concreto expuesto al agua de mar (no aplica a pilotes de concreto precolado)</b>	100 mm
<b>Concreto expuesto a la intemperie o en contacto con el suelo: varillas desde el No. 2.5 al No. 5 varillas desde el No. 5 a mayores</b>	38 mm 50 mm
<b>Concreto en losas, muros, columnas y trabes: varillas desde el No. 2.5 al No. 5, Varillas desde el No.5 a mayores.</b>	Desde 13 a 20 mm Desde 19 a 40 mm

Nota 1: La dimensión mínima del recubrimiento en cualquiera de los casos debe ser igual a 1.5 veces el tamaño máximo del agregado utilizado.  
Fuente: NMX-C-403-ONNCCE-1999

TABLA 23 RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS POR TIPO DE EXPOSICIÓN AMBIENTAL DEL CONCRETO CONVENCIONAL (HOLCIM APASCO, 2008)

## 4.3.2 CIMBRA

### Definición y características

- “Es la estructura provisional o molde que soporta al concreto mientras esté fraguando y logra la resistencia suficiente para sostenerse a sí misma” (ACI 347 R 94).
- La cimbra es una estructura temporal que se utiliza en la fabricación de elementos estructurales o arquitectónicos para dar y mantener la forma del concreto fresco durante el proceso de fraguado.

Se distinguen dos partes importantes en la fabricación de la cimbra:

- Molde o forro. Son los elementos que están en contacto directo con el concreto y dan forma al concreto y al acabado.
- Obra falsa. Son los elementos que soportan al molde o forro.

La cimbra puede fabricarse de madera o de materiales metálicos, mixtos y plásticos sintéticos e industrializados. Para construcciones en las que el tiempo es determinante y el número de usos de una misma cimbra es considerable, es recomendable y más rentable optar por un sistema de cimbra industrializado fabricado con materiales como aluminio, fibra de vidrio, fenólica, metálica, modular, etc., aunque el costo inicial de adquisición sea mayor que el de la cimbra de madera.

Los requisitos de las cimbras son:

- Deben ser fuertes y rígidas para garantizar el soporte adecuado del elemento que se construye y satisfacer las tolerancias dimensionales permitidas.

- Deben ser lo suficientemente herméticas para evitar escurrimientos durante el proceso de vibrado y fraguado del concreto.
- Deben ser fácilmente desmontables para no dañar el acabado especificado del concreto y permitir su reutilización el mayor número de veces posible.
- La cimbra debe ajustarse a la forma, dimensiones, niveles, alineamiento y acabado claramente indicado y especificado en los alcances del proyecto.
- La obra falsa debe estar correctamente contraventeada para garantizar su seguridad, forma, ubicación y rigidez necesarias.
- La obra falsa debe construirse tomando en cuenta las contraflechas especificadas en el proyecto.
- Los puntales o pies derechos deben colocarse a plomo, permitiendo una inclinación no mayor a 2 mm por metro lineal.
- La cimbra de contacto debe tener la suficiente rigidez para evitar las deformaciones ocasionadas por la presión del concreto o por el efecto del vibrado o de cualquier otra carga presente durante el proceso de colado.
- Cuando se trate de cimbra de madera, se debe cuidar que los elementos utilizados no se encuentren torcidos o deformados, así como evitar la colocación de piezas con nudos en las zonas expuestas a esfuerzos de tensión de los elementos estructurales. Previo al colado debe humedecerse la cimbra de contacto.
- Para facilitar el proceso de descimbrado es recomendable, antes de armar y colocar el acero y el concreto, aplicar sobre la superficie de contacto de la cimbra algún producto desmoldante o desencofrante.
- Antes de iniciar el colado, la superficie de la cimbra debe estar libre de cualquier elemento extraño y dañino, como basura, pedazos de madera, pedacera de acero o separadores de madera.etc.
- Durante el colado y antes del inicio del proceso de endurecimiento del concreto es recomendable inspeccionar el cimbrado con el fin de detectar deflexiones, asentamientos, pandeos o desajustes en los elementos de contacto o en la obra falsa.

Tolerancias en el alineamiento y verticalidad de las cimbras		
Ubicación	Características del elemento	Tolerancia
Desviación respecto a la vertical	En tramos de hasta 3m.	6 mm.
	En tramos de hasta 6m.	12 mm.
	En tramos mayores de 6m.	25 mm.
En esquinas aparentes de columnas, ranuras de juntas de control y otras líneas principales.	En tramos de hasta 6m.	6 mm.
	En tramos mayores de 6m.	12 mm.
Desviaciones respecto a niveles o pendientes de proyecto, medidas antes de retirar los puntales de soporte en cimbras para acabados aparentes. En cimbras para acabados comunes.	En tramos de hasta 6m.	1/500 del claro.
	En tramos mayores de 6m.	1/1300 del claro.
En dinteles aparentes, parapetos y ranuras horizontales	En tramos de hasta 6m.	6 mm.
	En tramos mayores de 6m.	12 mm.
Desviaciones de alineamientos respecto a la posición establecida en planta y la posición relativa de columnas, muros y divisiones.	En tramos de hasta 6m.	12 mm.
	En tramos mayores de 6m.	25 mm.
Desviaciones en la dimensión y localización de piezas de acoplamiento y abertura de pisos y muros.		Entre 6 y 12 mm.
Desviaciones de las dimensiones de las secciones transversales de columnas y vigas y en el espesor de losas.		Entre 6 y 12 mm.
Desvió de zapatas. Variación en la desviación en planta.		Entre 12 y 50 mm.
Excentricidad o desplazamiento.		20% del ancho de la zapata en la dirección del desplazamiento, sin exceder los 50 mm.

TABLA 24 TOLERANCIAS EN EL ALINEAMIENTO Y VERTICALIDAD DE LAS CIMBRAS

(HOLCIM APASCO, 2008)

- La cimbra podrá reusarse cuantas veces sea posible, siempre y cuando se cuide que en cada uso se cumplan las especificaciones y requisitos del cimbrado, esto es que no se reduzca la rigidez ni la hermeticidad y que se cumpla satisfactoriamente con el acabado superficial especificado.
- El proceso de descimbrado se realizará bajo condiciones de seguridad estructural para la edificación.
- Evitar descimbrar partes de la estructura que no se encuentren debidamente apuntaladas a fin de soportar, durante la construcción, cargas que sean mayores a las de diseño.
- Durante el descimbrado no se debe dañar la superficie del concreto.

- El tiempo para retirar la cimbra está en función del tipo de la estructura, de las condiciones climáticas, del tipo del concreto utilizado y de los aditivos empleados, ya sea para acelerar o retardar el fraguado.
- A menos que el proyecto especifique otro ordenamiento, los tiempos recomendables para descimbrar se pueden consultar en la tabla 27.

Elemento estructural	Cemento con resistencia inicial normal	Cemento con resistencia inicial rápida
Trabes y vigas	14 días.	7 días.
Losas	14 días.	7 días.
Bóvedas	14 días	7 días
Columnas	2 días	1 día
Muros y contrafuertes	2 días	1 día
Costados de trabes y losas	2 días	1 día

TABLA 25 TIEMPOS RECOMENDADOS PARA DESCIMBRAR. (HOLCIM APASCO, 2008)

### 4.3.3 CONCRETO

#### Definición y características

- El concreto hidráulico es una mezcla de agregados pétreos naturales, procesados o artificiales, cementante y agua, a la que además se le puede agregar algunos aditivos. Generalmente, esta mezcla es dosificada en unidades de masa en plantas de concreto premezclado y, en masa y/o en volumen en las obras. Los aditivos se dosifican en volumen o en masa según su presentación: en polvo, en masa y líquidos en volumen.

El concreto tiene las siguientes propiedades:

- ✓ Trabajabilidad.
- ✓ Consistencia.
- ✓ Durabilidad.
- ✓ Impermeabilidad.
- ✓ Cambio de volumen.
- ✓ Resistencia.

- **Trabajabilidad:** Es la facilidad con que pueden mezclarse los ingredientes de la mezcla aunada a la capacidad de ésta para manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de homogeneidad. Se mide por la consistencia o fluidez con la obtención del revenimiento (norma mexicana NMX-C-156-1997-ONNCCE). Una mezcla bien proporcionada y trabajable perderá el revenimiento lentamente, en cambio una mezcla deficiente no tendrá cohesión ni plasticidad y se segregará.
- **Consistencia:** Se refiere al carácter de la mezcla respecto a su fluidez tanto en su estado seco como fluido.
- **Durabilidad:** Es la capacidad de resistencia a la intemperie, a la congelación y descongelación, a la acción de agentes químicos y al desgaste.
- **Impermeabilidad:** Se logra reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. El exceso de agua deja vacíos y cavidades después de la evaporación y si estos están interconectados, el agua puede penetrar o atravesar el concreto. El contenido bajo de agua en la mezcla, la inclusión de aire y el curado óptimo y eficiente del concreto, aumentan la impermeabilidad.
- **Cambio de volumen:** La expansión debida a las reacciones químicas de los ingredientes del concreto ocasiona la contracción del concreto durante su secado, así como la aparición de grietas.
- **Resistencia:** Se determina mediante una muestra en forma de cilindro sometida a esfuerzos de compresión. Como el concreto aumenta su resistencia conforme pasa el tiempo, la resistencia a la compresión a los 28 días es la medida más común de esta propiedad. Desde el punto de vista normativo se toman como referencia los siguientes códigos del ACI (American Concrete Institute): C192 (Investigaciones y pruebas de laboratorio), C31 (Investigación y pruebas con especímenes

de campo), C39 (Procedimiento de prueba) y C42 (Pruebas de núcleos de concreto obtenidos por perforación) y las normas mexicanas NMX-C-83-ONNCCE-2002 (Prueba de resistencia a la compresión con especímenes de concreto cilíndricos) y NMX-C-169-1997-ONNCCE (Extracción y prueba de núcleos o corazones de concreto y sometidos a compresión).

- ❖ Los ingredientes de una mezcla deben seleccionarse con el fin de producir un concreto trabajable, cuyas características sean adecuadas para las condiciones de servicio al menor costo.
- ❖ Para optimizar costos, la cantidad de cemento debe mantenerse al mínimo, esto se logra seleccionando el agregado grueso del tamaño máximo posible para tener menos huecos y, por lo tanto, necesitar menos pasta de cemento para llenarlos. La relación agua/cemento debe ser lo más baja posible para producir un concreto trabajable que garantice la resistencia a la compresión, durabilidad e impermeabilidad especificadas y cuya contracción no sea excesiva.
- ❖ El agua agregada a una mezcla muy dura o poco plástica mejorará su trabajabilidad, pero el exceso, sin incrementar proporcionalmente la cantidad de cemento, tiene efectos perjudiciales.
- ❖ La relación agua/cemento determina las características y propiedades del concreto endurecido, especialmente su resistencia. Los valores más bajos de esta relación corresponden a las resistencias más altas.
- ❖ Los códigos y normas relativas a la fabricación de concretos determinan la relación agua/cemento máxima permisible para concretos con resistencias específicas de diseño. A continuación se presenta una gráfica (Ilustración 17) sobre la relación agua/cemento adecuada para diferentes resistencias de diseño del concreto ( $f'c$ ).

En la construcción de elementos de concreto estructurales o arquitectónicos se distinguen las siguientes actividades consecutivas e importantes, que se tratarán por separado respetando el orden con el que se ejecuta cada proceso.

- **Proporcionamiento y dosificación:** Es la determinación de la cantidad de los materiales que intervienen en la mezcla para fabricar concreto partiendo de la relación agua/cemento y la resistencia deseada. No se incluye en este trabajo el método para determinar la dosificación; dicho método se plantea ampliamente en el informe 211 del ACI (American Concrete Institute).

La dosificación del cemento se mide en kilogramos (kg) de masa, ya sea por peso directo de la cantidad requerida o por medio del uso de sacos enteros. Se acepta una tolerancia de +/-1% con respecto a la cantidad requerida.

La dosificación del agregado fino y grueso puede hacerse en kilogramos (kg) pesando el material requerido o, también, por volumen utilizando recipientes rígidos, herméticos y de capacidad verificable. En obra se utilizan, convencionalmente, botes de 19 litros de capacidad nominal y si están muy deformados se verificará su capacidad real antes de utilizarlos. Es aceptable una tolerancia de variación de +/-2% con respecto a la cantidad requerida.

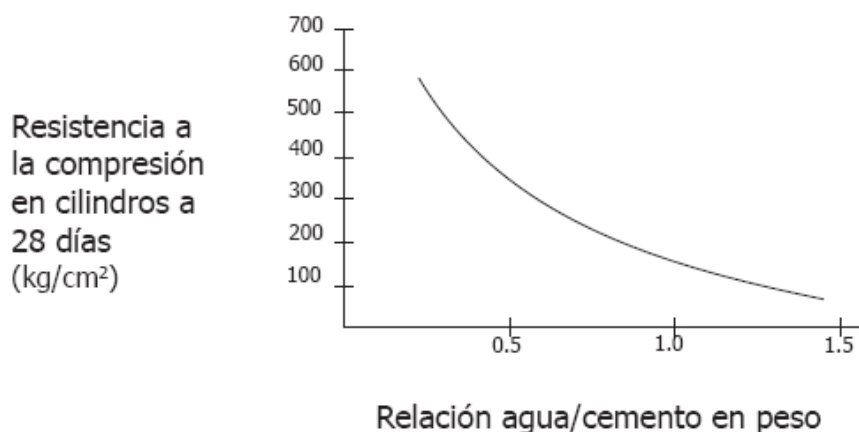


ILUSTRACIÓN 57 EFECTO DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO. (HOLCIM APASCO, 2008)

La dosificación del agua se puede medir en kilogramos (kg) o en litros (l). Se acepta, al igual que el cemento, una tolerancia de +/-1% con respecto a la cantidad requerida.



La dosificación del agua puede realizarse en kilogramos (kg) por volumen (un kilogramo de masa agua es igual a un litro) y medirse en los mismos recipientes y en las mismas condiciones que para los agregados. Se acepta una tolerancia de variación de  $\pm 1\%$  de la cantidad requerida.

La dosificación de aditivos, cuando sea el caso, se hará en kilogramos (kg) si son sólidos (pulverizados) o en volumen si son líquidos. Se acepta una tolerancia de variación de  $\pm 3\%$  con respecto a las cantidades requeridas.

Es importante definir, antes de fabricar el concreto, las cantidades de los materiales a fin de elaborar mezclas con el volumen y las propiedades requeridas.

Las proporciones de arena y grava deben ajustarse en función de la cohesión y manejabilidad que se requieran en el proyecto. La cantidad de arena, en ningún caso, debe exceder a la de la grava.

En la tabla 28 se presentan dosificaciones para fabricar concretos de diferente resistencia

Material	Unidad	Resistencia de diseño (f'c) con un TMA de 20 mm (1 1/2")				
		100	150	200	250	300
Agua	Litro	57	48	38	33	24
Cemento	Bulto (50kg)	1	1	1	1	1
Arena	Litro	143	105	76	67	48
Grava	litro	152	124	114	95	86
		Resistencia de diseño (f'c) con un TMA de 40 mm (3/4")				
		100	150	200	250	300
Agua	litro	57	48	38	33	24
Cemento	Bulto (50kg)	1	1	1	1	1
Arena	Litro	133	105	76	67	48
Grava	Litro	181	162	143	124	105
		Resistencia de diseño (f'c) con un TMA de 20 mm				
		100	150	200	250	300
Agua	Bote	3	2.5	2	1.75	1.25
Cemento	Bulto	1	1	1	1	1
Arena	Bote	7.5	5.5	4	3.5	2.5
Grava	Bote	8	6.5	6	5	4.5
		Resistencia de diseño (f'c) con un TMA de 40 mm				
		100	150	200	250	300
Agua	Bote	3	2.5	2	1.75	1.25
Cemento	Bulto	1	1	1	1	1
Arena	Bote	7.5	5.5	4	3.5	2.5
Grava	Bote	9.5	8.5	7.5	6.5	5.5

Notas:

- 1.- La unidad Bote es equivalente a un recipiente de un volumen de 19 litros
- 2.- La unidad Bulto es equivalente a una masa de 50 Kg
- 3.- TMA: Tamaño Máximo del Agregado Grueso (Grava)

### Porcentaje de desperdicio promedio durante la fabricación y colocación de mezclas

Material	En la fabricación de la mezcla	En la colocación de la mezcla
Cemento	3%	
Arena	10%	
Grava	10%	
Agua	30%	
Concreto		5%

TABLA 26 DOSIFICACIÓN Y PROPORCIONAMIENTOS PARA LA FABRICACIÓN DEL CONCRETO

## Ley de Abrams

El endurecimiento del concreto depende del endurecimiento de la "lechada" o pasta formada por el cemento y el agua entre los que se desarrolla una reacción química que produce la formación de un coloide "gel", a medida que se hidratan los componentes del cemento. La reacción de endurecimiento es muy lenta, lo cual permite la evaporación de parte del agua necesaria para la hidratación de cemento, que se traduce en una notable disminución de la resistencia final. Es por ello que debe mantenerse húmedo el concreto recién colado "curándolo" cuando menos 14 días si se usa cemento tipo I y 7 días si se usa cemento tipo III.

También se logra evitar la evaporación del agua necesaria para la hidratación del cemento, cubriendo el concreto recién descimbrado con una película impermeable de parafina o de productos especiales que se encuentren en el mercado.

Fue el profesor Duff A Abrams, del instituto Lewis de Chicago, quien expuso la Ley del Endurecimiento del Concreto por medio de una fórmula que ligaba el volumen de agua de hidratación con el volumen de cemento empleado. Considerando que el volumen de cemento varia notablemente con la compactación se ha preferido expresar la LEY DE ABRAMS en función de la relación agua-cemento en peso.

Analíticamente la Ley de Abrams se expresa para los cementos comunes tipo I de la siguiente manera:

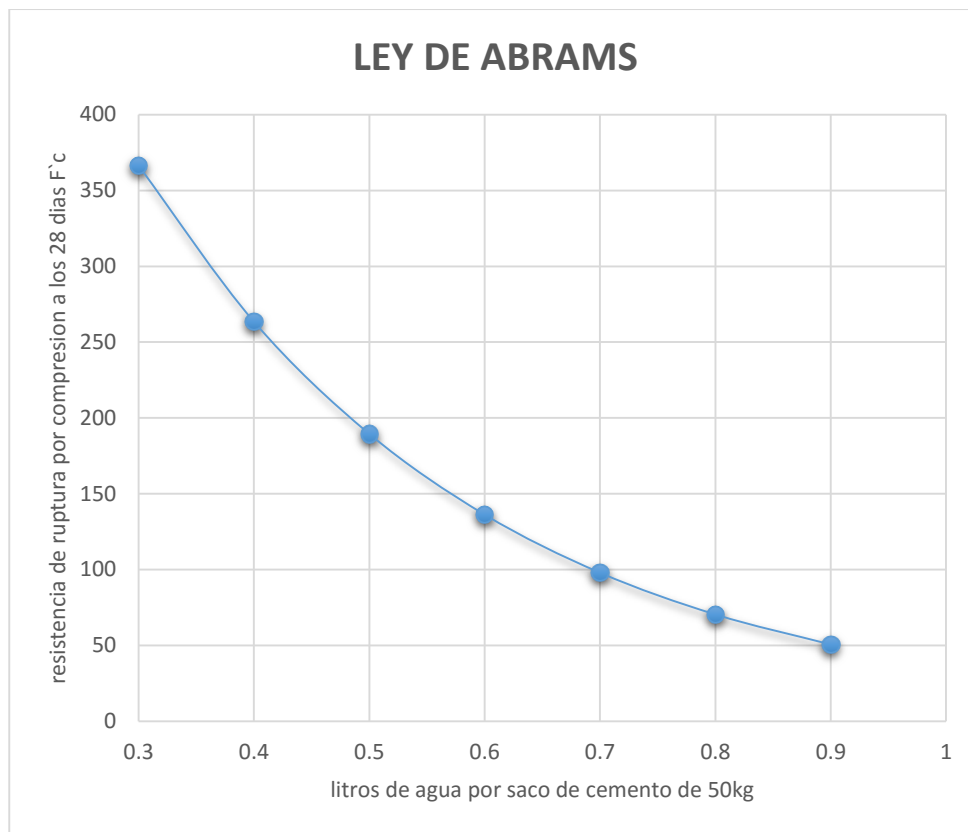
$$f_c = \frac{985}{27^x}$$

En la cual:

$f_c$  = Fatiga de ruptura a la compresión y a los 28 días, de una probeta cilíndrica de 15cm de diámetro por 30cm de altura.

X = Relación agua – cemento en peso.

Tabulando la ecuación anterior se presenta la siguiente grafica



*ILUSTRACIÓN 58 LEY DE ABRAMS (PÈREZ, 2008)*

- **Fabricación:** Podrá efectuarse por medios manuales, mecánicos o industrializados (premezclado). Este último proceso se tratará más adelante y más ampliamente.
  - **Por medios manuales:** Sólo cuando las condiciones o las características particulares de la obra lo determinen se elaborará el concreto por este medio y se tomarán los siguientes cuidados:
    - La mezcla se deberá hacer sobre una artesa o entarimado perfectamente sellado.
    - Primero se extenderá la arena y sobre ésta, el cemento de manera uniforme. Ambos materiales se mezclarán hasta que su color se torne igual; posteriormente, esta mezcla se extenderá para agregar la grava y luego, por partes, la cantidad de agua

especificada; procediendo nuevamente al mezclado hasta formar una pasta homogénea.

- Desde el momento en que se añade agua a la mezcla hasta que es colocada en la cimbra, no deben pasar más de 30 minutos. Evitar agregar más agua transcurrido ese tiempo. Si parte de esa mezcla iniciara el fraguado no deberá usarse.
  - Se recomienda que la cantidad máxima de concreto elaborado a mano no sea mayor que el volumen producido con 150 kg de cemento, es decir, 3 sacos.
- 
- **Por medios mecánicos.** Este procedimiento es el más adecuado para elaborar concreto en obra. Con él se obtiene una mezcla más uniforme en un tiempo razonablemente corto. El equipo o maquinaria usual es la revolvedora común y su capacidad de producción está en función de la cantidad de metros cúbicos (m<sup>3</sup>) que se fabrican con determinado número de sacos o bultos de cemento.
    - Es conveniente operar la revolvedora fabricando volúmenes equivalentes entre el 50 y el 85% de su capacidad nominal ya que la eficiencia se reduce si trabaja con poca o con excesiva carga.
    - La revolvedora debe girar con una velocidad tangencial de 18 a 24 rpm, durante 3 minutos mínimo y máximo 5.
    - Es importante tener todos los materiales en cantidad suficiente cerca del lugar de fabricación a fin de evitar tiempos perdidos.

- Cuando por alguna circunstancia, parte de la mezcla tenga que permanecer dentro de la revolvedora, el tiempo no deberá ser mayor de 20 minutos y, antes de vaciarla, deberán mezclarse nuevamente todos los ingredientes por un minuto más como mínimo. Si se excede de este tiempo la mezcla no debe ser utilizada.
  
- Al dejar de utilizar la revolvedora deben lavarse las partes que estuvieron en contacto directo con la mezcla, a fin de evitar el engrosamiento interior y alterar su capacidad nominal.
  
- **Transporte:** Una vez fabricado el concreto debe trasladarse hasta el lugar del colado y para tal efecto el medio de transporte debe ser:
  - Lo suficientemente rápido para evitar pérdida del revenimiento antes de su colocación.
  
  - Lo suficientemente eficaz para evitar la segregación y la pérdida del mortero o lechada.
  
  - Factores importante para elegir el modo de transportar concreto dentro de la obra:
    - ✓ Volumen a transportar.
    - ✓ Distancia mínima y máxima.
    - ✓ Consistencia del concreto (revenimiento).
    - ✓ Tamaño máximo del agregado grueso en la mezcla.
    - ✓ Accesibilidad para vaciar el concreto en la cimbra.
    - ✓ Tiempo disponible para el colado.
  
  - Medios de transportación más utilizados:

- ✓ **Carretillas manuales o motorizadas:** Son adecuadas para mover pequeños volúmenes a distancias cortas. La distancia máxima de entrega para un equipo motorizado es de 120 m y para un equipo manual (carretilla) de 60 m. Efectuar el traslado a distancias mayores propiciará la segregación del material.
  - ✓ **Bandas transportadoras:** Son recomendables para mezclas plásticas (de 6 a 8 cm de revenimiento) y grandes volúmenes ya que el costo de instalación e implementación es alto y requiere de cierta especialización.
  - ✓ **Bombas estacionarias neumáticas o pistones:** Son recomendables para mezclas fluidas (de 9 a 15 cm de revenimiento) y para volúmenes medios o grandes ya que el costo de utilización es alto.
- **Colocación del concreto:** El colado o vaciado es el proceso de colocación del concreto dentro del molde o cimbra.
    - La colocación del concreto es determinante, ya que con esta actividad se concluye la fabricación de elementos estructurales o arquitectónicos, importantes, definitivos y perdurables de una obra. Además de cumplir con las exigencias de un funcionamiento estructural eficiente y seguro. Aunque las actividades de vibrado y curado son sumamente importantes, con la colocación se determina el volumen y la posición de los elementos.

Es importante que antes del colado se notifique a las autoridades técnicas de la obra con el fin de que se lleve a cabo la inspección de la zona de colado.

En esta inspección se debe revisar, entre otros, aspectos tales como:

- ✓ Que la cimbra y el acero cumplan con los requerimientos de proyecto.

- ✓ Que dentro de la cimbra, en la revolvedora y en el equipo de transporte no haya elementos perjudiciales y ajenos al funcionamiento y manejo eficiente del concreto.
- ✓ Considerar las condiciones climáticas, si éstas no son adecuadas, llevar a cabo los cuidados necesarios para realizar el colado y tomar en cuenta la posibilidad de interrumpirlo.
- ✓ Evitar colar debajo de los 5°C a menos que se utilice un aditivo para eliminar los efectos de la congelación.
- ✓ Revisar los trabajos previos complementarios tales como la colocación y posición de las instalaciones inmersas en el concreto.
- ✓ Si hay ductos de instalaciones dentro de una columna deben colocarse en el centro de ésta y su área de sección no debe ser mayor a 4% del total de la sección transversal de la columna.
- ✓ Las tuberías de agua, gas, vapor y sanitarias no deberán ahogarse en el concreto estructural.
- ✓ No se debe colocar concreto que presente a simple vista muestras de segregación.
- ✓ Evitar que la colocación del concreto en la cimbra provoque un impacto que dé lugar a la segregación de la mezcla.
- ✓ La altura máxima de caída libre del concreto es de 0.80 m. Si se tienen elementos más altos, deben abrirse ventanas clausurables y sellables por donde se pueda verter el concreto sin problema.
- ✓ El proceso de colocación debe ser por capas y cada una de éstas deberá ser compactada correctamente antes de que la capa anterior haya iniciado el fraguado.



- ✓ No es aceptable acumular la mezcla dentro de la cimbra o cimbras, para extenderla posteriormente, así como, traspalear concreto para llenar otras cimbras. Estas prácticas propician la segregación de la mezcla.
  
- ✓ Si las especificaciones del proyecto no señalan otra cosa, el acabado final de la superficie debe ser liso, continuo, libre de bordes, rugosidades u oquedades.
  
- ✓ Vibrado o compactación del concreto. Es el proceso que facilita la colocación del concreto recién vaciado dentro de las cimbras, elimina al máximo los vacíos dentro de la mezcla, uniforma la distribución de materiales, propicia un buen contacto entre el concreto, la cimbra y el acero de refuerzo.
  
- ✓ Esta fase se realiza con vibradores de inmersión que proporcionan a la mezcla vibraciones de frecuencias mayores a 3000 vibraciones por minuto.
  
- ✓ El equipo disponible es eléctrico o de gasolina con cabezales de diferentes tamaños y diámetros y son de varios tipos: de inmersión (con chicote y cabezal), externos (vibradores adheridos a la cimbra que se usan cuando la densidad del acero es alta) y de superficie (reglas vibratorias que se usan para la colocación y vibrado de pisos y superficies horizontales).

Para seleccionar el tipo de vibrador se debe tomar en cuenta:

- ✓ El volumen de concreto que se someterá a este procedimiento.
- ✓ Velocidad de compactación deseada.
- ✓ Peso y tamaño del vibrador.
- ✓ Tiempo requerido de vibrado en función del fraguado del concreto.
- ✓ Dimensiones de los elementos de concreto a vibrar y la densidad de acero.

Los vibradores de inmersión deben introducirse en el concreto verticalmente, separando cada inmersión entre 45 y 75 cm; hacerlo rápidamente a la entrada y hacia abajo y sacarlo cuando la superficie visible del

concreto se torne brillante debido al flujo de la lechada de la mezcla. A este efecto se le conoce como sangrado del concreto.

En elementos de poco espesor se puede introducir el cabezal de manera inclinada y cada inmersión puede durar entre 5 y 15 segundos.

No se debe vibrar el concreto endurecido. Los huecos que se forman por la entrada del cabezal no podrán ser ocupados fácilmente por la misma mezcla al extraerlo.

Se debe evitar el sobrevibrado para no segregar la mezcla y no afectar al concreto en proceso avanzado de fraguado.

No debe vibrarse colocando el cabezal en contacto directo con el acero, ya que al iniciarse el fraguado, las vibraciones pueden provocar la separación entre el acero y el concreto, sobre todo si éste último ha iniciado su endurecimiento en algún lugar.

- **Curado:** El curado es la forma de controlar la humedad y la temperatura del concreto recién vaciado que permite, durante el fraguado inicial, la adquisición de las propiedades deseadas (resistencia, rigidez, durabilidad, impermeabilidad, entre otras). El método adecuado de curado está en función de las circunstancias y del tipo de la obra además de las características de los elementos de concreto que se someterán a este proceso. Se tienen los siguientes métodos de curado:
  - **Método tradicional:** Consiste en proteger el concreto contra la pérdida de agua por evaporación durante el período inicial de endurecimiento. Es aceptable mantener la humedad colocando sobre la superficie del concreto:
    - ✓ El papel de los bultos de cemento vacíos saturados de agua.
    - ✓ Aserrín o arena saturados de agua.

- ✓ Rociar agua constantemente.
  
- **Método químico:** Evita la pérdida de humedad sellando la superficie del concreto, lo cual puede lograrse aplicando un producto o compuesto directamente sobre la superficie visible del concreto para que forme una membrana. En elementos verticales que se pueden descimbrar al día siguiente, el producto o compuesto químico se aplicará inmediatamente después del descimbrado.
  - ❖ Tomar en cuenta que la humedad del concreto se pierde a través de todas las caras expuestas al medio ambiente; las caras cimbradas están protegidas satisfactoriamente contra la pérdida de humedad (siempre y cuando las otras caras o superficies no cimbradas se curen adecuadamente), por lo que es recomendable dejar colocada la cimbra el mayor tiempo posible, lo cual dependerá de la velocidad o del programa de rehúso de los moldes utilizados para cimbrar.
  
  - ❖ Durante el curado debe cuidarse que la temperatura del agua no sea 11°C menor a la del concreto para evitar esfuerzos de contracción que propicien agrietamientos inconvenientes.
  
  - ❖ El período mínimo para la aplicación del curado debe ser de 7 días para concretos colados a una temperatura ambiente de más de 10°C, a menos que el concreto sea muy sensible al curado o que las condiciones ambientales sean muy agresivas para el concreto, en cuyo caso el curado se prolongará por lo menos por 7 días más.
  
  - ❖ Si el concreto se cuela en climas fríos, menores a los 10°C, o incluso en estado de congelamiento sin ninguna precaución, es posible que resulte un concreto de calidad deficiente y de resistencia indeterminada. Para que esto no suceda, el concreto se debe mantener sobre los límites de temperatura indicados en la tabla 20.

- ❖ Para mantener el concreto por arriba del punto de congelación y de los límites de la tabla 20, los materiales se pueden calentar antes de mezclarse o el concreto puede mantenerse en lugares caldeados tales como hornos. Si el clima es moderadamente frío sin llegar a la congelación, calentar el agua para la mezcla es una práctica aceptable. Si se llega a niveles de congelamiento habrá que calentar los agregados también, cuidando de que los materiales no rebasen los 32°C al ser calentados.

<b>Temperatura ambiente</b>	<b>Temperatura mínima del concreto</b>	
	Secciones delgadas y losas sobre pisos (°C)	Secciones gruesas y concreto masivo (°C)
<b>De 7 a -3</b>	16	10
<b>De -3 a -13</b>	18	13
<b>Menor de -18</b>	21	16

Nota:

Extraído de la Norma Mexicana NMX-C-403-ONNCCE-1999

TABLA 27 REQUISITOS DE TEMPERATURA DEL CONCRETO PARA CLIMAS FRÍOS

#### 4.3.4 CONCRETO PREMEZCLADO

##### Generalidades

El concreto premezclado es el concreto hidráulico que contiene cemento, agregados pétreos, agua y aditivos (según se requieran) cuya dosificación y mezclado son cuidadosamente controlados en planta por el fabricante. El concreto premezclado se entrega, para su utilización, en estado plástico.

La utilización del concreto premezclado ofrece las siguientes ventajas:

- ✓ Medición correcta y calidad controlada en todos los insumos.
- ✓ Para cumplir los requisitos de resistencia de esta norma, con un nivel de confianza del 98%, los resultados de las pruebas de resistencia deben cumplir con los requisitos que se indican.
- ✓ Uniformidad en aspecto, color y resistencia.
- ✓ Permite acelerar el ritmo de la obra.
- ✓ Menor empleo y costo de mano de obra.
- ✓ Elevada capacidad de producción, suministro y control.

#### Calidad del concreto en estado endurecido:

- ✓ El productor de concreto debe tener información de ensayos que respalden el cumplimiento de los requisitos especificados.
- ✓ Cuando la resistencia es la base de la aceptación del concreto, deben elaborarse especímenes de acuerdo con la NMX-C-160-ONNCCE-2004.
- ✓ El número de muestras debe estar de acuerdo con lo indicado en la tabla 21, que considera para la prueba de resistencia como mínimo dos especímenes a la edad especificada, de la muestra obtenida según la NMX-C-161-1997-ONNCCE.
- ✓ El resultado de una prueba debe ser el promedio de las resistencias obtenidas en los especímenes compañeros, excepto si se observa en alguno de ellos una deficiencia de muestreo, elaboración, manejo, curado o prueba, no se tomarán en cuenta y el promedio de las resistencias de los especímenes restantes debe ser considerado como el resultado de la prueba. El que se obtenga una resistencia inferior a la especificada no es motivo para rechazar el espécimen.
- ✓ Para cumplir con los requisitos de resistencia de esta norma, con un nivel de confianza de 98%, los resultados de las pruebas de resistencia deben estar de acuerdo a los requerimientos indicados.

#### Resistencia a la compresión

La resistencia debe ser igual o mayor a 19.6 MPa (200 kgf/cm<sup>2</sup>), a menos que de común acuerdo con el productor, el estructurista y el usuario se establezca otra.

El concreto debe alcanzar la resistencia especificada a la compresión ( $f'c$ ) a 28 días y a otra edad convenida y cumplir con lo siguiente:

- a) Se acepta que no más del 10% del número de pruebas de resistencia a la compresión, tengan valores inferiores a la resistencia especificada  $f'c$ . Se requiere un mínimo de 30 pruebas.
- b) Se permite no más del 1% de los promedios de 3 pruebas consecutivas de resistencia a la compresión, puede ser inferior a la resistencia especificada. Se requiere un mínimo de 30 pruebas.

Nota: Debido a la variación en los materiales, operaciones y pruebas, la resistencia promedio para alcanzar estos requisitos, deber ser considerablemente más alta que la resistencia especificada.

Esta resistencia es más alta en la medida en que las variaciones aumenten y más baja en la medida en que éstas disminuyan.

En la utilización del concreto premezclado se distinguen las siguientes etapas desde su dosificación hasta el manejo y cuidado en la obra una vez colado:

### **Dosificación y mezclado**

- ❖ El concreto se dosifica y proporciona en planta de acuerdo a lo que se establece en la norma mexicana NMX-C-155- ONNCCE-2004 y los insumos utilizados estarán dentro de las normas respectivas ya comentadas anteriormente en este manual.
- ❖ El mezclado puede hacerse totalmente en la planta, parcialmente en la planta o en el camión mezclador (olla).

## Transporte

- ❖ El concreto premezclado se traslada desde la planta dosificadora hacia la obra en el camión mezclador (olla).
- ❖ La descarga total del concreto debe realizarse durante un período no mayor a 90 minutos después de la introducción inicial del agua de mezclado.
- ❖ Bajo condiciones especiales de temperatura ambiente, del empleo de aditivos y otras, el tiempo máximo para su descarga puede ser diferente.
- ❖ Si la mezcla se realiza totalmente dentro del camión mezclador (olla) se requiere en total de 70 a 100 revoluciones, a razón de 10 a 12 revoluciones por minuto. Con esto se tiene una mezcla uniforme y homogénea.
- ❖ Si se requiere mezclado adicional se debe hacer a una velocidad de entre 2 y 6 revoluciones por minuto.
- ❖ Estos procesos de mezclado posteriores al primero pueden afectar a la uniformidad del concreto.

<b>Prueba y método</b>	<b>Concreto dosificado por masa</b>
Revenimiento (NMX-C-156-1997-ONNCCE)	Al inicio del colado y cuando se detecte visualmente cambio de consistencia, pero no menos de una por cada 100 m <sup>3</sup> o fracción.
Masa unitaria ( NMX-C-162-ONNCCE-2000)	Una por cada día de colado
Temperatura. Si la temperatura es menor de 280 K (7°C) o mayor de 305 K (32°C)	No menos de una por cada 60 m <sup>3</sup> o fracción. Una por cada entrega
Contenido de aire. (NMX-C-162-ONNCCE-2000), en concretos con aire incluido.	Cada entrega. En caso de producción continua cada 12 m <sup>3</sup> .
Resistencia a la compresión (NMX-C-083-ONNCCE-2002)	Por cada 100 m <sup>3</sup> o fracción.
Modulo de elasticidad (NMX-C-128-ONNCCE-2000)	Cuando lo solicite el cliente.

Nota: Para la prueba de resistencia a la compresión de la muestra obtenida y mezclada de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-161-ONNCCE, deben hacerse, como mínimo dos especímenes para probar a la edad especificada.

Fuente: Norma mexicana NMX-C-155-ONNCCE-2004.

TABLA 28 FRECUENCIAS MÍNIMAS DE MUESTREO PARA CONTROL DE LA PRODUCCIÓN (HOLCIM APASCO, 2008)

<b>Prueba y método</b>	<b>Concreto dosificado por masa</b>
Revenimiento (NMX-C-156-1997-ONNCCE)	En todas las entregas o de acuerdo con especificaciones
Masa unitaria ( NMX-C-162-ONNCCE-2000)	Una por cada día de colado
Temperatura. Si la temperatura es menor de 280 K (7°C) o mayor de 305 K (32°C)	Cada entrega, En caso de producción continua, cada 12 m <sup>3</sup> .
Contenido de aire. (NMX-C-162-ONNCCE-2000), en concretos con aire incluido.	Cada entrega. En caso de producción continua cada 12 m <sup>3</sup> .
Resistencia a la compresión	Por cada 40 m <sup>3</sup> o fracción.
Resistencia a la compresión en columnas y muros (NMX-C-083-ONNCCE-2002)	Por cada 40 m <sup>3</sup> o fracción.
Modulo de elasticidad (NMX-C-128-ONNCCE-2000)	Tres determinaciones por obra como mínimo y cuando lo solicite el director responsable de obra.

Nota: Para la prueba de resistencia a la compresión de la muestra obtenida y mezclada de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-161-ONNCCE, deben hacerse, como mínimo dos especímenes para probar a la edad especificada.

Fuente: Norma mexicana NMX-C-155-ONNCCE-2004.

TABLA 29 FRECUENCIAS MÍNIMAS DE MUESTREO EN OBRA (HOLCIM APASCO, 2008)

### **Muestreo del concreto (toma de la muestra)**

- ❖ La planta dosificadora debe apegarse siempre a las normas mexicanas para la selección de los materiales y la aplicación de los procesos.
- ❖ La empresa fabricante del concreto premezclado debe permitir al constructor responsable, ejecutante de la obra o supervisor, llevar a cabo la toma de muestras necesarias para las pruebas con el fin de verificar la calidad requerida del concreto que se recibe.
- ❖ La toma de muestras debe hacerse para cada tipo de concreto solicitado y de acuerdo con la frecuencia señalada en la tabla 29.

### **Recomendaciones para el muestreo adecuado**

- ❖ Para tomar la muestra de la olla se requiere de la siguiente herramienta:



- Un recipiente con capacidad mínima de 15 litros (cubeta, carretilla, etc.) el cual debe estar limpio, no ser poroso o absorbente e impermeable.
- Una charola lisa de acero con las mismas características que el recipiente anterior.
- Un cucharón de acero de aproximadamente un litro de capacidad y con las mismas características que los anteriores.
- Debe tomarse la muestra hasta que se le haya añadido toda el agua y tenga la uniformidad requerida.
- Cuando la muestra se toma de la olla debe hacerse en tres o más intervalos, tomando una parte de la muestra total en cada uno y del flujo de la descarga.
- La muestra total debe tomarse después de descargar el 15% del total de la olla y antes de vaciar el 85% restante. El tiempo máximo para completar la toma total de la muestra no debe ser mayor a 15 minutos.
- La cantidad de la muestra de cada toma debe ser suficiente para la realización de las pruebas de verificación de la calidad del concreto (revenimiento y resistencia de cilindros de concreto).
- Una vez tomada la muestra, no deben transcurrir más de 15 minutos para usarla. Durante ese tiempo la muestra debe protegerse de los agentes del medio ambiente que le provoquen pérdida de humedad o que la contaminen.
- Las pruebas de revenimiento y de inclusión de aire deben iniciar dentro de los 5 minutos posteriores al término de la toma de la muestra.

## **Verificación de la calidad del concreto**

❖ Las pruebas más usuales que se aplican al concreto son las siguientes:

- ✓ Prueba verificable en laboratorio:
  - Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros moldeados de concreto (norma mexicana NMX-C-83-ONNCCE-2002).
  
- ✓ Prueba verificable en obra:

- Determinación del revenimiento del concreto fresco (NMX-C-156-1997-ONNCCE).

Hay métodos complementarios de prueba para el concreto cuyo objeto es verificar si cumplen con los requisitos de fabricación requeridos.

Se recomienda consultar los siguientes métodos en sus respectivas normas mexicanas:

NMX-C-109-ONNCCE-2004 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

NMX-C-157-ONNCCE-2006 Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión.

NMX-C-160-ONNCCE-2004 Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto.

NMX-C-162-ONNCCE-2000 Determinación de la masa unitaria, cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico.

### **Prueba de los cilindros de concreto**

Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros moldeados de concreto (norma mexicana nmx-c-83-onncce-2002)

Una vez tomada la muestra de concreto en las condiciones ya precisadas anteriormente se procede como sigue:

- El concreto se coloca con el cucharón de acero en cada uno de los tres moldes cilíndricos requeridos para la muestra (15 cm de diámetro y 30 cm de altura), en tres capas iguales.
- Cada capa de concreto se compacta por medio de una varilla (no. 5, 5/8") haciendo 25 penetraciones de manera uniforme en todo el molde. En la primera capa se introduce la varilla hasta tocar el fondo, sin abollarlo ni deformarlo, y en las dos siguientes hasta penetrar 2 cm aproximadamente de la capa inferior anterior. La capa superior debe rebasar el borde del cilindro. Una vez compactada la última capa, ésta se debe enrasar y cubrir perfectamente para evitar la pérdida de humedad. Si el concreto de la muestra tiene revenimiento igual o mayor a 5 cm, la compactación de las capas debe hacerse por medio de vibración de inmersión.
- Los cilindros colados deben curarse durante las 24 horas siguientes, en el lugar de la obra.
- Los cilindros se trasladarán al laboratorio; ahí se extraen las muestras de los moldes y se almacenan en condiciones controladas de laboratorio a una temperatura entre los 23°C y 25°C y a una humedad relativa de 95% mínimo. Durante el traslado debe mantenerse la humedad de los cilindros y no dañarlos. Si las muestras cilíndricas no se cuidan debidamente durante el fraguado inicial se producirá una disminución de la resistencia de diseño lo cual es inaceptable; una muestra tratada inadecuadamente puede perder entre 10% y 25% de su resistencia potencial.

<b>Concreto de resistencia normal</b>		<b>Concreto de resistencia rápida</b>	
Edad (Días)	% de la resistencia de diseño	Edad (Días)	% de la resistencia de diseño
7	65	3	65
14	80	7	85
28	100	14	100

TABLA 30 COMPORTAMIENTO DE CILINDROS DE CONCRETO SOMETIDOS A LA PRUEBA DE COMPRESIÓN

- En el laboratorio cada cilindro se someterá a un esfuerzo de compresión a diferentes edades. En la tabla 23 se muestra en forma muy general, el comportamiento de los cilindros de concreto sometidos a compresión; en la ilustración 18 se representa gráficamente ese comportamiento.

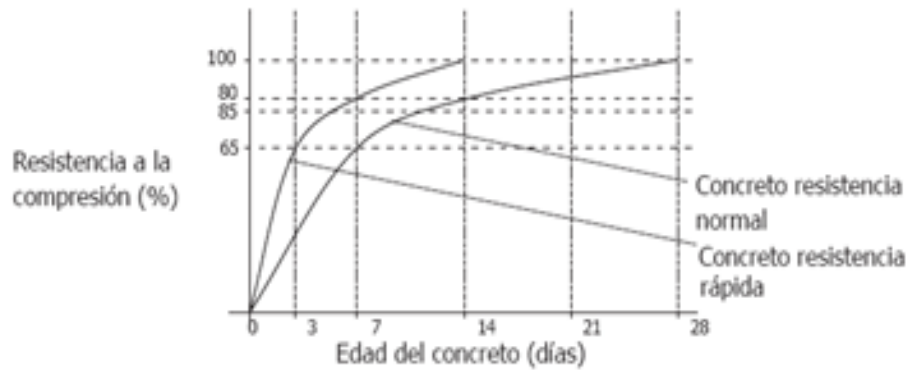


ILUSTRACIÓN 59 COMPORTAMIENTO NORMAL DE UN ESPÉCIMEN DE CONCRETO SOMETIDO A COMPRESIÓN EN DIFERENTES EDADES. (HOLCIM APASCO, 2008)

#### 4.3.5 SISTEMA DE POSTENZADO

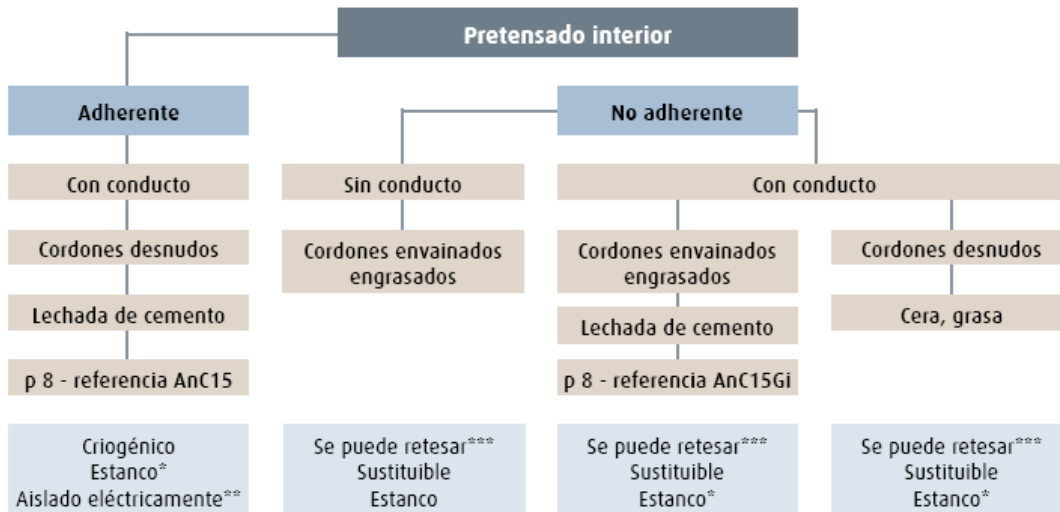
##### Generalidades

El sistema de pretensado de la gama C ha sido diseñado y certificado para distintos tipos de aplicaciones:

- Empleo de cordones T13 y T15 de todas las clases (1770 ó 1860 MPa), incluidos los cordones galvanizados o envainados y engrasados.
- Unidades de pretensado de hasta 55 cordones.

Se puede utilizar en pretensados interiores o exteriores para estructuras de concreto reforzado, acero, madera o mampostería:

- **Adherente o no adherente**
- **Con o sin conducto**
- **Con posibilidad de retesado**
- **Sustituible**
- **Sustituible, regulable**
- **Con posibilidad de detesado**
- **Con aislamiento eléctrico**
- **Para aplicaciones criogénicas.**



\*Mediante una vaina estanca continua

\*\*Mediante disposiciones especiales

\*\*\*Mediante la conservación de la longitud sobrante de los cordones

ILUSTRACIÓN 60 PRETENSADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES (FREYSSINET, 2014)

El modo de uso más habitual de la gama C con pretensado interior adherente se basa en el empleo de cordones desnudos lubricados en una vaina corrugada con fleje metálico, galvanizada o no, que puede curvarse manualmente y en la que se inyecta una lechada de cemento después del tesado de los cordones. En las zonas curvadas y para reducir el coeficiente de rozamiento de los cordones con la vaina, Freyssinet propone un sistema de lubricación de serie del fleje realizado siguiendo un procedimiento único que Freyssinet denomina LFC.

Si se desea aumentar la vida útil del pretensado o en el caso de aplicaciones en entornos muy agresivos por lo que respecta a la corrosión del acero del pretensado, la vaina de fleje metálico puede sustituirse por una vaina de plástico estanca (también pueden sustituirse las conexiones entre elementos). Freyssinet ha desarrollado la vaina de pretensado Poliducto®, una vaina de PEAD con un perfil corrugado que garantiza la adherencia del cable a la estructura. El espesor de la vaina se determina en función de las presiones laterales que se producen en las zonas curvas y de los desplazamientos que experimentan los cordones durante el tesado.

En el caso de las estructuras para entornos marinos, Freyssinet propone el uso de un conducto metálico estanco formado por tubos lisos muy gruesos con juntas resistentes, revestidos y colmatados con resina mediante un manguito termorretráctil.

Para las estructuras compuestas por elementos prefabricados con juntas combinadas, Freyssinet ha desarrollado el acoplador de vaina Liaseal®. Este acoplador plástico garantiza la estanquidad frente a la penetración de aguas de infiltración entre las juntas de las dovelas.

Para cada configuración existe un modo idóneo de protección de las cabezas de anclaje: puede tratarse de sellado (hormigonado de la cabeza de anclaje en un cajetín) o de un capot permanente de fundición (galvanizada o pintada) o de plástico e inyectada con el mismo producto de protección empleado en la sección principal del cable.

Para proteger los cables de las corrientes de fuga o efectuar el control eléctrico de la estanquidad de las vainas de plástico, Freyssinet ofrece también un sistema de pretensado con aislamiento eléctrico basado en el uso de una placa aislante bajo la cabeza de anclaje, y de una vaina y una tapa de plástico que forman un revestimiento continuo y estanco en torno a los torones.

#### Configuraciones de pretensado interior no adherente

Los cables de pretensado no adherente se usan esencialmente para aplicaciones que implican la necesidad de medir la tensión del cable, de volver a tesarlo o de aflojarlo y sustituirlo.

Se puede obtener un pretensado no adherente simplemente utilizando un producto de protección anticorrosión blando como sustituto de la lechada de cemento, generalmente grasa o cera especialmente diseñadas para esta función. En este caso, se prestará especial atención a la estanquidad de los conductos.

Para aumentar la vida del pretensado colocando varias barreras de protección contra la corrosión o para permitir, por ejemplo, la sustitución individual de los cordones, Freyssinet recomienda utilizar cordones protegidos con grasa y revestidos con una vaina individual de PEAD. Estas armaduras pueden colocarse en un conducto inyectado con lechada de cemento antes del tesado del cable o bien pueden incorporarse directamente en el entramado antes del hormigonado. (FREYSSINET, 2014)

## 5.- COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

El presente trabajo es la culminación de mis estudios de licenciatura en la carrera de ingeniería civil dentro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, desarrollado gracias a la oportunidad de poder colaborar en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco.

En este sentido puedo expresar que el proyecto de la PTAR Atotonilco es un ejemplo del desarrollo de infraestructura que se apuesta en los tiempos modernos de México, siendo el proyecto de mayor relevancia para el saneamiento de aguas residuales que se construye en la actualidad para Latinoamérica con una concesión de operación por 25 años.

Respecto de los sistemas de construcción así como de equipos, personal y herramientas, se usó tecnología de lo más avanzado y disponible en el mercado de la construcción, lo cual represento una oportunidad inigualable de tener contacto y de desarrollo profesional en los procedimientos más tecnológicos, tomando en cuenta que es de fundamental importancia el tema de la seguridad industrial y el respeto al medio ambiente, así como de mantener el menor impacto social a la comunidad de el Salto.

El proyecto plantea que por el crecimiento poblacional ascendente, los requerimientos de recursos hídricos que cada día son sobre explotados y el uso de aguas negras en el riego de alimentos para consumo humano, son motivos por los cuales debemos ser conscientes del impacto y huella que vamos dejando en nuestro medio ambiente, ya sea de manera local o regional; como en el caso de la PTAR Atotonilco, ya que una vez que esté en operación tendrá una aportación significativa a los cultivos de alimentos y también a la limpieza de los cuerpos de agua a los que se llegara eventualmente a depurar una vez que entre en operación, además de buscar eliminar el riesgo a la salud de la población que habita cerca del paso del rio el Salto y en el Valle del Mezquital, son ellos quienes tendrán la oportunidad de mejorar su condición de salud y también será afectada su situación económica en la medida en que los campos de cultivo sean diversificados en sus plantaciones.

El procedimiento constructivo se puede aplicar a cualquier tanque donde se pretenda almacenar biosolidos con un uso de generación de gas metano para su aprovechamiento posterior, esto es muy común en las PTAR donde el proyecto integral considere que por el volumen de desechos pueda a llegarse a usar el metano como combustible para poder producir energía eléctrica aprovechable dentro de la misma planta o para otros servicios adicionales.

Para cuando se tenga la consideración de cortes especiales en el terreno y se tenga que hacer una protección especial, se debe considerar el tiempo para los trabajos de los taludes, ya que pueden caer en temporadas donde de acuerdo a la ubicación de la construcción podría ser un problema el temporal de

lluvias, ya que se presentan debilitamiento en los cortes y riesgos de deslizamientos de materiales, también por medio de los sondeos se debe tomar en cuenta los niveles freáticos, ya que se puede hacer las excavaciones de varias tanques al mismo tiempo pero se presentan limitantes de equipos de succión de agua, así como caminos de acceso que son un riesgo para el tránsito de vehículos pesados por la falta de adherencia al suelo por el agua extraída de la cimentación.

Se debe poner atención durante el proceso de corte de la cimentación así como la colocación y espesor adecuado de la plantilla, ya que de no tener una correcta colocación se tendrán acarreado problemas en los subsecuentes actividades.

También es de vital importancia mantener una comunicación lineal, clara y objetiva, entre los residentes de obra civil, control de calidad, residente de topografía, residente del departamento de mecánica, residente eléctrico, residente de seguridad, residente de la contratista y la supervisión, ya que si existe una adecuada comunicación y coordinación con los actores principales, se podrá llegar a tener un trabajo fluido y sin mayores contrariedades, ya que esto ayuda a que no se hagan trabajos dobles, tiempos muertos o se atrasen actividades por faltas u omisiones en los planos de proyecto, requerimientos del departamento de obra electromecánica, formatos de liberación, etc.

Es importante hacer las solicitudes de materiales con anticipación, así como los requerimientos de personal y equipos especiales, coordinar trabajos con los equipos de izaje, su ubicación y maniobras de tal forma que no sean un riesgo potencial entre los involucrados en las actividades, recordando siempre que se debe impedir a toda costa las actividades cruzadas.

En el tema de la seguridad se debe coordinar de manera diaria y oportuna que actividades se desarrollarán durante la jornada para prevenir los riesgos inherentes a la actividad, así como de solicitar al personal que haga uso correcto de todo su equipo de protección personal en función de la actividad que desarrolla, vigilar el comportamiento del viento cuando se tienen cargas en suspensión o cuando se tenga presencia de lluvia junto con actividades en alturas, o cuando por la condición de trabajo se tenga la necesidad de continuar trabajando cuando la luz natural haya terminado, para hacerlo con equipo de iluminación artificial y plantas de emergencia.

La calidad en los trabajos debe ser celosamente vigilada por el residente encargado, ya que se tienen elementos que trabajaran a presión y con un gas inflamable una vez que entren operación, por lo cual se debe cuidar que todos los tanques pasen las pruebas de estanqueidad.

El manejo financiero no debe pasarse por alto ya que es parte fundamental en todo proyecto, siempre debe cuidarse, semana a semana por medio de presentaciones de avance físico vs avance económico, con el fin de prevenir cualquier desviación a los programas proyectados, e ir cuidando que el conjunto de las



actividades realizadas concuerden con el plan de acción proyectado, y en la manera de lo posible hacer adelantos de trabajos donde se vea la mejor opción de tal forma que rinda frutos en el corto y mediano plazo del proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUAS TRATADAS DEL VALLE DE MEXICO. (MAYO DE 2011). PLANO ID\_0800\_OC2\_PL\_0041\_OB. ID\_0800\_OC2\_PL\_0041\_OB - DIGESTOR TIPO A ARMADO DE LOSA DE CIMENTACION. MEXICO.
- ARNAL SIMON, L., & BETANCOURT SUÀREZ, M. (2011). REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL (6 ED.). DISTRITO FEDERAL: TRILLAS.
- BANCO INTERAMAERICANO DE DESARROLLO - SECTOR DE INFRAESTRUCTURA Y MEDIO AMBIENTE. (2013). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MEXICO. MEXICO, D.F.
- COMISION NACIONAL DEL AGUA. (2011). INVENTARIO NACIONAL DE PLANTRAS MUNICIPALES DE POTABILIZACION Y DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN OPERACION. MEXICO, DISTRITO FEDERAL.
- CONAGUA. (5 DE ABRIL DE 2010). COMISIÒN NACIONAL DEL AGUA. OBTENIDO DE [HTTP://WWW.CONAGUA.GOB.MX/SUSTENTABILIDADHIDRICADELVALLEDEMEXICO/INTRODUCCION.ASPX](http://www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelvalledemexico/introduccion.aspx)
- CONAGUA. (7 DE SEPTIEMBRE DE 2011). COMISIÒN NACIONAL DEL AGUA. OBTENIDO DE [HTTP://WWW.CONAGUA.GOB.MX/SUSTENTABILIDADHIDRICADELVALLEDEMEXICO/PTARATOTONILCO.ASPX](http://www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelvalledemexico/ptaratotonilco.aspx)
- CONAGUA. (DICIEMBRE DE 2011). PUBLICACIONES ESTADISTICAS Y GEOGRAFICAS. OBTENIDO DE [HTTP://WWW.CONAGUA.GOB.MX/](http://www.conagua.gob.mx/)
- FREYSSINET. (2014). FREYSSINET DE MEXICO. OBTENIDO DE [WWW.FREYSSINET.COM](http://www.freyssinet.com)
- HOLCIM APASCO. (2008). MANUAL TÉCNICO DE CONSTRUCCIÓN. MÉXICO: FERNANDO PORRÚA.
- PÈREZ, A. C. (2008). TESIS PROFESIONAL CONCRETO PRESFORZADO. MEXICO DISTRITO FEDERAL: INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.

## ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICAS

TABLA 1 CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES TRATADAS (M <sup>3</sup> /S). (BANCO INTERAMAERICANO DE DESARROLLO - SECTOR DE INFRAESTRUCTURA Y MEDIO AMBIENTE, 2013).....	10
TABLA 2 CANTIDAD Y TIPO DE PROCESO EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO.....	13
TABLA 3 DATOS ECONÓMICOS (CONAGUA, COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2011).....	20
TABLA 4 DATOS TÉCNICOS (CONAGUA, COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2011).....	21
TABLA 5 NIVEL FREÁTICO EN LAS PLATAFORMAS 20 Y 22.....	24
TABLA 6 RESUMEN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS PROPORCIONADOS POR.....	27
TABLA 7 HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES ENTRE PUNTOS DE COMPARACIÓN DE LOS DIGESTORES.....	30
TABLA 8 HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES ENTRE DIGESTORES CIMENTADOS SOBRE MATERIALES DISTINTOS. .....	31
TABLA 9 CLASIFICACIÓN DEL TERRENO PARA LA LIMPIEZA EN FUNCIÓN.....	38
TABLA 10 ACERO DE CIMENTACIÓN BIODIGESTOR TIPO.....	54
TABLA 11 ESPECIFICACIONES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL USADO PARA LA CIMENTACIÓN DE LOS TANQUES DIGESTORES (AGUAS TRATADAS DEL VALLE DE MEXICO, 2011).....	56
TABLA 12 RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS NECESARIOS PARA EL DESLIZADO.....	76
TABLA 13 REQUERIMIENTOS PARA POSTENZADO.....	82
TABLA 14 FUERZA DE TRABAJO PROYECTADA POR DIGESTOR.....	87
TABLA 15 PROYECCIÓN DE TRABAJOS PARA TANQUES BIODIGESTORES.....	88
TABLA 16 EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TANQUES BIODIGESTORES.....	89
TABLA 17 DIMENSIONES GENERALES DE TANQUE DIGESTOR.....	89
TABLA 18 PESO DE TANQUE DIGESTOR TIPO.....	90
TABLA 19 NIVELES EN LAS PLATAFORMAS DE DIGESTORES.....	90
TABLA 20 CARACTERÍSTICAS DE MALLA ELECTROSOLDADA DE ACERO.....	95
TABLA 21 CLASIFICACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO POR SU.....	96
TABLA 22 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS VARILLAS CORRUGADAS PARA REFUERZO DE CONCRETO (HOLCIM APASCO, 2008).....	96
TABLA 23 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE EXPOSICIÓN (HOLCIM APASCO, 2008).....	103
TABLA 24 RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS POR TIPO DE EXPOSICIÓN AMBIENTAL DEL CONCRETO ESTRUCTURAL. (HOLCIM APASCO, 2008).....	104
TABLA 25 RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS POR TIPO DE EXPOSICIÓN AMBIENTAL DEL CONCRETO CONVENCIONAL (HOLCIM APASCO, 2008).....	104
TABLA 26 TOLERANCIAS EN EL ALINEAMIENTO Y VERTICALIDAD DE LAS CIMBRAS.....	107
TABLA 27 TIEMPOS RECOMENDADOS PARA DESCIMBRAR. (HOLCIM APASCO, 2008).....	108
TABLA 28 DOSIFICACIÓN Y PROPORCIONAMIENTOS PARA LA FABRICACIÓN DEL CONCRETO.....	113
TABLA 29 LEY DE ABRAMS (PÈREZ, 2008).....	115
TABLA 30 REQUISITOS DE TEMPERATURA DEL CONCRETO PARA CLIMAS FRÍOS.....	123
TABLA 31 FRECUENCIAS MÍNIMAS DE MUESTREO PARA CONTROL DE LA PRODUCCIÓN (HOLCIM APASCO, 2008).....	126

TABLA 32 FRECUENCIAS MÍNIMAS DE MUESTREO EN OBRA (HOLCIM APASCO, 2008)..... 127  
TABLA 33 COMPORTAMIENTO DE CILINDROS DE CONCRETO SOMETIDOS A LA PRUEBA DE COMPRESIÓN 130

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ATOTONILCO	14
ILUSTRACIÓN 2 AVANCE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ATOTONILCO AL MES	15
ILUSTRACIÓN 3 CROQUIS DE UBICACIÓN DEL ÁREA 800 DENTRO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ATOTONILCO DE TULA	16
ILUSTRACIÓN 4 RENDER DE LOS TANQUES DIGESTORES	16
ILUSTRACIÓN 5 ARREGLO GENERAL DEL ÁREA 800	17
ILUSTRACIÓN 6 PERFIL GEOLÓGICO EN LA PLATAFORMA 20 Y 22	23
ILUSTRACIÓN 7 COTA DEL NIVEL FREÁTICO REPRESENTATIVA MEDIDA EN EL ÁREA 0800.	25
ILUSTRACIÓN 8 CORTE VERTICAL DE DIGESTOR TIPO	26
ILUSTRACIÓN 9 ESQUEMA DE LA RED DE ZANJAS DREN EN EL ÁREA 0800.	27
ILUSTRACIÓN 10 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE HUNDIMIENTOS POR LA EMPRESA	29
ILUSTRACIÓN 11 SITUACIÓN DE LOS PUNTOS DE COMPARACIÓN DE HUNDIMIENTOS POR GEOTEC, S.A. DE C.V.	30
ILUSTRACIÓN 12 CORTE LONGITUDINAL DIGESTORES TIPO A	32
ILUSTRACIÓN 13 CORTE LONGITUDINAL DIGESTORES TIPO B Y B-1	33
ILUSTRACIÓN 14 TRAZO POR MEDIOS MANUALES (HOLCIM APASCO, 2008)	39
ILUSTRACIÓN 15 NIVELACIÓN CON MEDIOS MANUALES (HOLCIM APASCO, 2008)	40
ILUSTRACIÓN 16 EXCAVACIÓN DE TANQUE BIODIGESTOR	40
ILUSTRACIÓN 17 PROTECCIÓN DE TALUD	44
ILUSTRACIÓN 18 TRAZO DE TANQUE BIODIGESTOR	45
ILUSTRACIÓN 19 PROCESO CONSTRUCTIVO DIGESTOR TIPO. ETAPA I EXCAVACIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO	45
ILUSTRACIÓN 20 PLANTA GENERAL DE LOS TANQUES DIGESTORES TIPO A, B Y B-1.	47
ILUSTRACIÓN 21 ARREGLO GENERAL DE JUNTAS DE COLADO PARA LA LOSA DE CIMENTACIÓN DE LOS TANQUES BIODIGESTORES	48
ILUSTRACIÓN 22 BANDA DE PVC COLOCADA SOBRE LA PLANTILLA	48
ILUSTRACIÓN 23 IZQUIERDA: TALLER DE DOBLES DE ACERO Y A LA DERECHA:	49
ILUSTRACIÓN 24 REVISIÓN E INSPECCIÓN DE LA CIMENTACIÓN Y LA BANDA DE PVC	50
ILUSTRACIÓN 25 DIGESTOR TIPO B Y B-1 ARMADO DE LOSAS, CORTE EN SECCIÓN TRANSVERSAL	51
ILUSTRACIÓN 26 PROCESO CONSTRUCTIVO DE TANQUE DIGESTOR TIPO.	51
ILUSTRACIÓN 27 CIMENTACIÓN DE DIGESTORES TIPO A ARMADO DE LOSA LECHO INFERIOR Y LECHO SUPERIOR	52
ILUSTRACIÓN 28 CIMENTACIÓN DE DIGESTORES TIPO B Y B-1 ARMADO DE LECHO INFERIOR Y LECHO SUPERIOR	53
ILUSTRACIÓN 29 COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO - BASE DE BIODIGESTOR	55
ILUSTRACIÓN 30 DETALLE ARMADO DE LOSA - MURO EN TANQUE DIGESTOR	55
ILUSTRACIÓN 31 ACERO Y LÍNEAS DE POTENZADO INSTALADOS PREVIOS AL COLADO DE LA ZAPATA	57

ILUSTRACIÓN 32 ESQUEMA SECUENCIA DE COLADO DE LOSA FONDO _____	59
ILUSTRACIÓN 33 COLADO DE UNA SECCIÓN DE LA ZAPATA CON DELIMITACIONES EN AMBOS LADOS ____	59
ILUSTRACIÓN 34 CURADO DE UNA SECCIÓN DE LA ZAPATA _____	65
ILUSTRACIÓN 35 HABILITADO DE CIMBRA PARA MUROS DESLIZADOS _____	67
ILUSTRACIÓN 36 PREPARATIVOS PARA EL COLADO DE LOS MUROS DESLIZADOS (CONAGUA, COMISIÒN NACIONAL DEL AGUA, 2010) _____	67
ILUSTRACIÓN 37 COLOCACIÓN DEL MOLDE DE CIMBRA PARA MURO _____	68
ILUSTRACIÓN 38 EQUIPO DE IZAJE, BOMBA DE CONCRETO Y EQUIPO DE SUMINISTRO DE CONCRETO ____	69
ILUSTRACIÓN 39 IZQ. TOLVA RECEPCIÓN DE CONCRETO. DER. VACIADO POR MEDIO DE CARRETILLA ____	71
ILUSTRACIÓN 40 MURO DESLIZADO Y TRABAJOS CONTINUOS. _____	73
ILUSTRACIÓN 41 DESLIZADO DE MURO CARA EXTERIOR _____	74
ILUSTRACIÓN 42 TANQUE DIGESTOR EN PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS. (CONAGUA, COMISIÒN NACIONAL DEL AGUA, 2010) _____	76
ILUSTRACIÓN 43 ESQUEMA DE COLOCACIÓN DE ESTRUCTURA CENTRAL DE SOPORTE _____	77
ILUSTRACIÓN 44 ESTRUCTURA PROVISIONAL DE SOPORTE PARA LOSA TAPA _____	77
ILUSTRACIÓN 45 OBRA FALSA PARA EL COLADO DE LA LOSA TAPA (CONAGUA, COMISIÒN NACIONAL DEL AGUA, 2010) _____	78
ILUSTRACIÓN 46 COLOCACIÓN CIMBRA DE CONTACTO DE LOSA TAPA _____	79
ILUSTRACIÓN 47 COLOCACIÓN DE CONCRETO EN LOSA TAPA _____	80
ILUSTRACIÓN 48 CABLE TORÓN UBICADO EN POSICIÓN VERTICAL _____	81
ILUSTRACIÓN 49 COLOCACIÓN DE CABLES TORONES VERTICALES _____	82
ILUSTRACIÓN 50 EQUIPO APLICÁNDOLE TENSIÓN EN CABLES TORONES VERTICALES _____	83
ILUSTRACIÓN 51 CUÑAS DE PENETRACIÓN _____	84
ILUSTRACIÓN 52 SECCIÓN TRANSVERSAL DE DIGESTORES _____	91
ILUSTRACIÓN 53 SECCIÓN INFERIOR DE DIGESTOR TIPO _____	93
ILUSTRACIÓN 54 SECCIÓN SUPERIOR DE DIGESTOR TIPO _____	94
ILUSTRACIÓN 55 EFECTO DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN LA RESISTENCIA A LA _____	111
ILUSTRACIÓN 56 COMPORTAMIENTO NORMAL DE UN ESPÉCIMEN DE CONCRETO SOMETIDO A COMPRESIÓN EN DIFERENTES EDADES. (HOLCIM APASCO, 2008) _____	131
ILUSTRACIÓN 57 PRETENSADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES (FREYSSINET, 2014) _____	132

## GLOSARIO

**Habilitado de Acero de Refuerzo:** Corte de Varilla es el proceso mecánico por medio del cual una varilla es cortada a la longitud requerida por el proyecto. Doble es el proceso mecánico por medio del cual la varilla es doblada en sus extremos o internamente para formar escuadras, ganchos o longitudes requeridas por proyecto para adecuarse a la forma de la estructura.

**Embebido:** Elemento fabricado de metal, plástico, ó madera que se fija en la cimbra ó acero de refuerzo dando la geometría que requiere el proyecto.

**Concreto:** Mezcla en base a un diseño estructural de agregados gruesos (grava-arena) y finos (cemento-agua) que en estado plástico se coloca para que una vez endurecido forme las bases y/o estructuras requeridas en el proyecto. Se le conoce también como Hormigón.

**Cimbra:** Es el conjunto de piezas cuyos materiales (madera, plástico o metal) delimitan la forma y dimensiones de una estructura de concreto armado.

**Obra falsa:** Es un sistema estructural de soporte de la cimbra formada por elementos de madera, metal u otros materiales capaces de soportar las cargas muertas y vivas a la que están expuestas.

**Cimbra deslizante:** Conjunto de procedimientos constructivos en estructuras de concreto armado, generalmente verticales en que el encofrado, molde o cimbra es elevado aprovechando el proceso de fraguado inicial y final del concreto. Estableciendo así secuencias periódicas y constantes del vaciado y fraguado del concreto para elevación de la cimbra

**Vibrado y compactación del concreto:** El vibrado es la acción de expulsar el aire contenido en una masa de concreto por medio de equipo electro-mecánico, con la finalidad de homogeneizar la mezcla de concreto y lograr mayor impermeabilidad del concreto.

La compactación, que tiene un papel fundamental en la resistencia final del concreto, es el proceso por medio del cual se logra un mayor contacto entre los granos de la mezcla, para eliminar en lo posible, el aire atrapado dentro de esta. Puede llevarse a cabo por medios mecánicos o manuales, de acuerdo con la sección y los requisitos de calidad que deban cumplirse.

**Curado del concreto:** El proceso en el cual se previene la pérdida de agua en el concreto durante las fases de fraguado y endurecimiento, mediante la aplicación de un medio aislante o hidratante con base solvente.

**Fraguado del concreto:** El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el paso de la pasta del estado fluido al sólido.

**Anclaje:** Es un sistema mecánico de acero que sujeta a todos los componentes requeridos para anclar el acero de presfuerzo y transmite permanentemente la fuerza de presfuerzo al concreto.

**Acero de presfuerzo:** Acero de alta resistencia usado para reforzar el concreto, comúnmente es un torón de 7 alambres.