

Universidad Nacional Autónoma de México



---

Facultad de Ingeniería

Tesis profesional para la obtención del título de  
Ingeniero civil

Propuesta de estandarización de procedimientos para el  
control de calidad en materiales y procesos constructivos en  
obras civiles

Presenta: Daniel García Sarabia

Director de tesis: M. en I. Héctor Javier Guzmán Olguín



Agosto 2015



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/053/15

Señor  
DANIEL GARCÍA SARABIA  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. HÉCTOR JAVIER GUZMÁN OLGUÍN, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

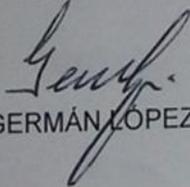
**"PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN MATERIALES Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN OBRAS CIVILES"**

- INTRODUCCIÓN
- I. PROCEDIMIENTOS DE ORDEN GENERAL
  - II. PROCEDIMIENTOS PARA ELEMENTOS PREESFORZADOS
  - III. PROCEDIMIENTOS ESPECIALES
  - IV. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 28 de mayo del 2015.  
EL PRESIDENTE

  
M.I. GERMÁN LOPEZ RINCÓN

GLR/MTH\*gar.



A mi hermano Claudio Enrique  
porque siempre serás el mejor médico cirujano

A mi hermano Juan Carlos  
con mucho cariño y por enseñarme a sonreír en todo momento

A mi hermano y colega David  
por ser mi inspiración

A mi colega y esposa Idalia Citlali  
por la fuerza y la luz

A mis padres Claudio y Yolanda  
porque a ellos les debo todo

## Índice

<b>Introducción</b> .....	5
<b>Capítulo 1. Procedimientos de orden general</b> .....	6
1.1 Procedimiento para terracerías.....	7
1.2 Procedimiento para plantillas.....	11
1.3 Procedimiento para cimbras.....	13
1.4 Procedimiento para acero de refuerzo.....	15
1.5 Procedimiento para concretos.....	20
<b>Capítulo 2. Procedimientos para elementos preesforzados</b> .....	28
2.1 Procedimiento para traveses tipo AASHTO tipo III. (Pretensado).....	29
2.2 Procedimiento para traveses tipo NU tipo Nebraska University. (Postensado).....	37
<b>Capítulo 3. Procedimientos especiales</b> .....	48
3.1 Procedimiento para reparación de concreto estructural.....	49
3.2 Procedimiento para reparación de fisuras en elementos estructurales de concreto.....	51
3.3 Procedimiento para estabilización de taludes.....	53
3.4 Procedimiento para inyección de concreto en áreas socavadas.....	60
3.5 Procedimiento para instalación de geomembrana en rellenos sanitarios...	61
3.6 Procedimiento para pruebas de estanquidad en tanques de concreto.....	66
<b>Capítulo 4. Conclusiones</b> .....	68
<b>Definiciones</b> .....	69
<b>Bibliografía</b> .....	73

## **Introducción.**

El presente documento pretende ser un manual de supervisión de obras civiles, el cual tiene entre sus objetivos mejorar la calidad de los proyectos durante su construcción. Estos pueden ser de obra pesada, industrial, entre otros. Estableciendo los criterios que faciliten los trabajos a desarrollar por el supervisor a través del conocimiento de la normatividad vigente. Permitiendo estandarizar sus actividades y fijar aspectos básicos para su ejecución.

Los alcances que pretende este trabajo son: disponer de una descripción detallada del procedimiento a seguir en las diferentes actividades a realizar en una obra. Permitiendo ejecutar el trabajo de manera óptima y realizarlas conforme a lo indicado en el presente manual. Lo que permitirá tener registros que sirvan para rastrear la evidencia y demostrar que se siguió adecuadamente un procedimiento.

En esta tesis se detallan distintos procedimientos que permiten realizar los trabajos adecuadamente durante todo el proceso constructivo que contempla la administración, la construcción, control de calidad de los materiales y la supervisión.

Este trabajo se realizó documentándose en los diferentes tópicos de la tecnología que actualmente se utiliza en la industria de la construcción, tales como normas nacionales e internacionales en las que quedan definidas las exigencias, parámetros y sus tolerancias admisibles, ya sea para materiales y/o pruebas de laboratorio.

Esta propuesta ofrece metodologías y procedimientos dirigidos a orientar las actividades de control y supervisión. Sin embargo, como todo, este trabajo es susceptible a modificaciones que durante su uso puedan aparecer con objeto de ir generando una mejora continua.

De igual manera es primordial tener certeza de que el constructor y el supervisor, conozcan los procedimientos correctos a aplicar y puedan prever y resolver dificultades oportunamente, de manera sistemática y periódica, antes de que originen deficiencias de calidad o retrasos en el programa, o peor aún, reparaciones o demoliciones que implican sobrecostos. Por ello la premisa de ofrecer una propuesta de estandarización para las distintas actividades y trabajos en obras civiles, apegada a la normatividad actual.

# **Capítulo 1**

## **Procedimientos de orden general**

## 1.1 Procedimiento para terracerías.

El objetivo es establecer los lineamientos necesarios para realizar las actividades de terraplenes y rellenos de terracerías para la construcción de obra civil; crear la metodología a seguir para realizar muestreos y determinar la calidad de los trabajos.

Además este procedimiento forma la metodología para determinar el grado de acomodo de las partículas de un suelo natural o de un material que forme parte de un terraplén, el número de calas se determinara de acuerdo a la norma N-CTR-CAR-1-01-009/00 y para criterios estadísticos de muestreo se apegara a la norma M-CAL-1-02.

### Procedimiento constructivo:

- Antes de iniciar con los movimientos de terracerías, se debe contar con el proyecto aprobado para construcción.
- Previamente al inicio de los trabajos, se verificara la línea base y el banco de nivel establecidos en el proyecto, que sirven como referencia durante el proceso de las terracerías; verificados estos, se procede a protegerlos y conservarlos fijos.
- Antes de iniciar los rellenos y terraplenes procedemos a eliminar del suelo base cualquier material indeseable. Realizamos desmonte, despalde y retiro del mismo material. (*Foto 1.1*)



Despalme de terreno vegetal con motoconformadora.

Foto 1.1 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Area: Clarificadores primarios.

- Teniendo el despalme ejecutado, se deberá proceder con el escarificado del terreno natural a una profundidad mínima de 20 cm, se deberá humedecer el suelo y compactar al porcentaje requerido en proyecto de acuerdo a la prueba AASTHO Estándar, AASTHO Modificada, Porter Modificada o Proctor según la recomendación específica del proyecto. (*Foto 1.2*)
- No se procederá a colocar el material para terraplenes hasta que el suelo base o capa anterior sea aprobada por el laboratorio de control de calidad.
- Después de depositar los materiales, estos deberán distribuirse de manera uniforme en capas horizontales con espesores que permitan que el equipo y maquinaria utilizada pueda alcanzar la compactación indicada en proyecto (máximo espesor 20 cm).
- En ningún caso se utilizarán materiales altamente orgánicos como turba (Pt), ni materiales producto de despalmes.
- Si el contenido de humedad del material que se esté trabajando es menor que el óptimo obtenido del muestreo del Laboratorio, el material deberá ser homogenizado (se bandeara y se aplicara agua a razón de 150 l/m<sup>3</sup>) para posteriormente tenderlo en capas.
- Una vez homogenizado, tendido y nivelado el material, se procederá a la compactación mediante equipo tipo rodillo Liso, tipo Pata de Cabra o compactadora manual (bailarina) mismo que se utilizara hasta asegurar el grado de compactación que el proyecto especifique.
- Antes de proceder a colocar una nueva capa de relleno, deberá ser aprobada la capa anterior por el laboratorio de control de calidad, basándose en los resultados de los ensayos (pruebas de compactación de acuerdo a los procedimientos establecidos en la norma N-CMT-1-01/02).

#### Requisitos de calidad de materiales para terraplén

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Limite líquido; % máximo	50
Valor Soporte de California (CBR); % mínimo	5
Expansión; % máxima	5
Grado de compactación; %	90±2



Compactación con compactador manual ("bailarina").

Foto 1.2 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Área: Pretratamiento. Rejillas.

#### Procedimiento de control de calidad:

- Se determina el grado de acomodo de las partículas de un suelo natural o de un material pétreo o arcilloso para formar parte de una estructura de terraplén o terracería y el número de calas se determinara por medio de la norma N-CTR-CAR-1-01-009/00.

Se procederá a muestrear de acuerdo al siguiente parámetro:

$$c = L/50$$

Donde,

c= Numero de calas por realizar en cada capa tendida y compactada con aproximación a la unidad superior.

L= Longitud de la capa tendida y compactada en un día de trabajo (m)

- Los sondeos se realizaran intercalados de acuerdo a los cadenamientos de izquierdo, centro, derecha, de manera que la zona sea representativa al muestreo.

#### Procedimiento para determinar la masa volumétrica seca del material en estado natural por el método de cono y arena:

- Este método se aplica a materiales en estado natural, cuando el acomodo que tienen sus partículas es consecuencia de un proceso de la naturaleza o bien en estado compacto, cuando las partículas que lo constituyen han adquirido un cierto acomodo por algún procedimiento de compactación, pero que no

contengan fragmentos de roca. Este método se utiliza en la determinación del **grado de compactación**.

- El procedimiento para determinar la masa volumétrica de un suelo en el lugar, se hará por el siguiente método: Una vez seleccionado el sitio del muestreo, se prepara la superficie de tal manera que se tenga una porción plana de dimensiones 500 mm por 500 mm y que esté libre de partículas sueltas, se coloca el laboratorista sobre la superficie preparada previamente, se marca para delimitar el sondeo, el área a sondear será un recuadro de 125 mm por 125 mm y con una profundidad de 200 mm a 300 mm según sea la capa a muestrear y se procede a realizarlo con una barreta de acero, acto seguido se coloca el material en un recipiente o en una bolsa de plástico, se le determina su masa y se le toma la muestra para la prueba de humedad. Se determina la masa de la arena inicial, se coloca dicha arena sobre el cono metálico y este a su vez se coloca sobre el sondeo y se vierte hasta llenarlo con la arena silica, se enrasa hasta cubrir la superficie del sondeo, se determina la masa de arena remanente y posteriormente se procede a hacer los cálculos del volumen del sondeo de prueba ( *Foto 1.3*) empleando la siguiente formula:

$$V_m = (\text{Arena inicial} - \text{Arena remanente}) / \text{masa volumétrica seca suelta}$$



Foto 1.3 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo.

Prueba de densidad de suelos con cono de arena.

## 1.2 Procedimiento para plantillas.

El objetivo de este procedimiento es establecer los lineamientos necesarios para realizar y controlar las actividades de suministro, colocación, nivelación y terminado del concreto para plantillas.

Procedimiento constructivo:

- Antes de la colocación de la plantilla ya sea de concreto premezclado o elaborado en sitio, se deberá trazar la sección a colarse, esto se realiza de acuerdo a las dimensiones y niveles indicados en el proyecto de cada elemento.
- Afinar manualmente o con equipo la superficie donde se colocara la plantilla.
- Cimbrar en caso necesario el perímetro de la sección a colarse, tomando en cuenta que se deberá nivelar la cimbra o en caso de exceder la altura de proyecto indicar sobre la misma, niveles a base de clavos o de “maestras” de concreto de la misma resistencia, que nos permitirán hacer una buena nivelación al momento de colocar y reglear el concreto.
- Verificar los niveles de piso terminado tanto en la cimbra como en las “maestras” colocadas en su caso. Esto con equipo de topografía. (*Foto 1.4*)



Foto 1.4 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Plantilla de cimentación de biodigestor.

Verificación de niveles de piso terminado de plantilla con ayuda de equipo topográfico.

- Realizar limpieza del área antes de ser colocado el concreto, verificando que el fondo de la superficie estará libre de basura, rocas o cualquier objeto que pueda alterar la calidad o el acabado de los trabajos.
- Una vez hecho lo anterior, la plantilla se colocara lo más pronto posible a fin de evitar la intemperización de la superficie. (*Foto 1.5*)

- El control de calidad del concreto utilizado en las plantillas será a cargo del laboratorio de resistencia de materiales.



Foto 1.5 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Area: Rejillas.

Colocación de plantilla con concreto premezclado  $F'c = 100 \text{ kg/cm}^2$

### 1.3 Procedimiento para cimbras.

El objetivo de este procedimiento es establecer los lineamientos necesarios para contar con un sistema de cimbras seguro y que contribuya a tener un acabado adecuado en los elementos de concreto que se construyan con las mismas.

#### Procedimiento:

- Se procede a marcar el trazo de los diferentes elementos estructurales, colocando referencias lo más cercano posible de la zona del cimbrado. Esto servirá para verificar la posición de la cimbra una vez colocada. Pueden ser trazos para zapatas, contratrabes, columnas, trabes, losas y muros.
- Antes de colocar las cimbras se hará una limpieza de la superficie de contacto y se le debe aplicar un desmoldante tal que permita separarse del concreto sin dañarse o sin causar daño al concreto recién colado.

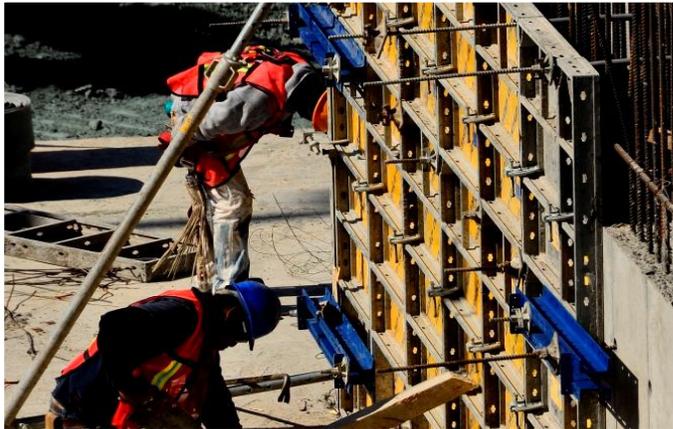


Foto 1.6 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Area: Pretratamiento. Rejillas.

Colocación de cimbra metálica, apuntalamiento de madera.

- Asimismo antes de ser colocadas las cimbras se deberá proceder a una inspección física y visual, esto a fin de verificar los armados de cada elemento y que se cumpla con las especificaciones del proyecto.
- Una vez verificados los armados se procederá a la colocación de la cimbra, inspeccionando verticalidad y alineamiento horizontal, tomando en cuenta las referencias. (Foto 1.6)



- Durante y después del colado se inspecciona la cimbra para detectar flexiones y asentamientos en los elementos de la cimbra o desajustes de alineamiento y verticalidad. (*Foto 1.7*)
- Respecto al descimbrado de los elementos, la cimbra deberá permanecer el tiempo necesario hasta que el concreto alcance la resistencia suficiente para soportar su propio peso y las cargas de construcción.



Verificación de verticalidad y horizontalidad de la cimbra con ayuda de nivel de burbuja.

Foto 1.7 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Area: tratamiento primario. Clarificadores primarios.

## 1.4 Procedimiento para acero de refuerzo.

El objetivo de este procedimiento es garantizar armados de acero de refuerzo que cumplan con todos los requerimientos de calidad.

Procedimiento de calidad previo al habilitado y colocación del acero de refuerzo:

- Se debe verificar que el acero de refuerzo antes de aceptarlo en los almacenes de la obra, deberá cumplir con las especificaciones de proyecto, tales como grado especificado (esfuerzo de fluencia: 30, 42, 52), características físicas del corrugado, diámetros y resistencia nominal.

Esfuerzo de fluencia Mpa (kg/cm <sup>2</sup> )	Grado
294 (3000)	30
412 (4200)	42
510 (5200)	52

- Además verificar situaciones desfavorables como grado de oxidación excesivo, fracturas parciales (grietas), quemaduras, traslapes y escamas que disminuyan el diámetro.
- No será causa de rechazo, la presencia en la superficie de escamas, irregularidades u oxido, siempre y cuando desaparezcan mediante la limpieza manual con un cepillo de alambre o chorro de arena y la probeta así limpia, no reduzca su área de sección transversal. La masa de las varillas de acero y el área de su sección trasversal no serán menores del 94% de los valores nominales señalados en la tabla siguiente:

Numero de designación	Masa nominal por metro (kg/m)	Diámetro (mm)	Área de la sección transversal (mm <sup>2</sup> )	Perímetro(mm)
3	0.556	9.5	71	29.8
4	0.993	12.7	127	39.9
5	1.557	15.9	199	50.0
6	2.223	19.1	287	60.0
7	3.035	22.2	387	69.7
8	3.973	25.4	507	79.8
9	5.037	28.6	642	89.8
10	6.227	31.8	794	99.9
11	7.500	34.9	957	109.6

La masa nominal por metro será calculada con el diámetro nominal en centímetros y la densidad del acero  $\gamma = 7.84 \text{ g/cm}^3$ , empleando la siguiente expresión:  $\text{Masa nominal} = \gamma \pi D^2/40$

- El acero de refuerzo debe de cumplir con características químicas tales como el contenido de fosforo en la varilla no debe exceder a 0.062% en masa. De acuerdo a la norma N-CMT-2-03-001/04. A continuación expongo los máximos permitidos según la norma:

Elemento	Grados 30, 42 y 52		Grado 42 baja aleación	
	Análisis de cada colada	Análisis del producto	Análisis de cada colada	Análisis de cada producto
Fosforo	0.050	0.062	0.035	0.043
Carbono	--	--	0.30	0.33
Manganeso	--	--	1.50	1.56
Azufre	--	--	0.045	0.053
Silicio	--	--	0.50	0.55

Unidades en % en masa, máximo

- Una vez verificado que las especificaciones del proyecto estén incluidas en la remisión de entrega del acero, se depositaran en una área determinada exclusivamente para su almacenaje, teniendo la precaución de estibar el acero de refuerzo sobre elementos de madera o cualquier otro material que separe al acero del suelo, para evitar su contaminación. Además de separarlo por diámetros.
- Antes de proceder al habilitado del acero de refuerzo, se le deberán hacer pruebas de tensión de acuerdo a la norma Resistencia a la tensión de productos metálicos (M-MMP-2-03-001 párrafo D.2.4.1, tabla 5. Resistencia a la tensión de las varillas de acero). Por lo tanto deberá de cumplir con los valores mínimos siguientes:

Características	Grado 30	Grado 42	Grado 52	Grado 42 baja aleación
Límite de fluencia mínimo	294(3000)	412(4200)	510(5200)	412(4200)
Límite de fluencia máximo	---	---	---	540(5500)
Resistencia a la tensión, mínima	490(5000)	618(6300)	706(7200)	550(5600)

Unidades en MPa ( $\text{kg/cm}^2$ )

Procedimiento para limpieza del acero de refuerzo:

- Las características perjudiciales en el acero de refuerzo son; grado de oxidación severa y/o con escamas que reduzcan su sección transversal.
- El acero de refuerzo con óxido o escamas o una combinación de ambas debe considerarse satisfactorio si las dimensiones mínimas de diámetro (incluyendo la altura de los resaltes del corrugado) y el peso de una muestra sometida a limpieza con cepillo de alambre de acero o sopleteando con aire comprimido a presión, cumple con las especificaciones ASTM-A-615, aplicables indicadas en el capítulo 3.5 del reglamento ACI-318-2008. En el mismo párrafo 7.4 del mismo reglamento “Condiciones de la superficie del refuerzo”, menciona que la misma proporciona una guía con respecto a los efectos de la oxidación y la escamación sobre la adherencia del acero, varias investigaciones han demostrado que una cantidad normal de óxido aumenta la adherencia entre el acero y el concreto.
- Se considera un grado de oxidación ligera, cuando el óxido en el acero de refuerzo presente un color naranja y/o cobrizo.
- Se propone una limpieza superficial con aire comprimido y/o cepillo de alambre, tal que permita cumplir con la especificación anexa y asegurar una eficiente adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.
- Se considera un grado de oxidación severa cuando el acero de refuerzo presenta escamación. Para el tipo de oxidación con escamas, el acero de refuerzo debe cumplir con el peso especificado de acuerdo al diámetro efectivo mínimo
- Se propone para este tipo de oxidación con escamas una limpieza a base de Sand-Blast (chorro de arena mezclada con aire a presión).
- El criterio de aceptación o rechazo es el siguiente. El acero debe cumplir con el área de la sección transversal de acuerdo a su diámetro.

Para el habilitado del acero de refuerzo se debe considerar lo siguiente:

- Para el doblado de varillas, cualquiera que sea su diámetro y con el fin de darles las formas que indique el proyecto, las varillas de refuerzo se doblan en frío y lentamente.
- En las varillas menores de 2.5 cm (1´´) de diámetro, los ganchos de anclaje deben hacerse alrededor de una pieza cilíndrica que tenga un diámetro igual o mayor de 6 veces el de la varilla, por tratarse de ganchos doblados a 180 grados 6 a 90 grados.
- En las varillas de diámetros mayores a 2.5, los ganchos de anclaje deben hacerse alrededor de una pieza cilíndrica que tenga un diámetro mayor que 8



veces el de la varilla, por tratarse de ganchos doblados a 180 grados 6 a 90 grados.

- Para el habilitado donde el acero requiera dobleces, puede utilizarse las tablas 7.1 (ganchos estándar) o la tabla 7.2 (diámetros mínimos de doblado) indicada en el apartado 7.2 del Reglamento para las construcciones de concreto estructural del ACI 318-02.

Para el transporte, estiba y colocación del acero en el sitio de construcción se debe considerar lo siguiente:

- Una vez teniendo el acero de refuerzo habilitado, procederemos a la carga y estiba del mismo en los medios de transporte adecuadamente habilitados, teniendo en cuenta que las plataformas donde se transporta el acero se le debe colocar preferentemente barros o cualquier objeto que permita colocar estobos entre la plataforma y la varilla, teniendo cuidado al momento de suspender el acero, se evite deformaciones o maltrato al mismo. (*Foto 1.8*)
- Para la estiba del material habilitado en el sitio de la obra, se deberá contar con madera suficiente que sirva de separación entre el terreno natural y el acero de refuerzo y se deberán colocar los apoyos a una distancia que permita que el acero no sufra deformaciones considerables.



Foto 1.8 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Área: Espesadores gravimétricos.

Estiba de acero de refuerzo de 1" con separación del suelo.

- Antes de colocar el acero de refuerzo se deberá contar con la superficie limpia, libre de lodos, aceites u otros materiales que pudieran contaminar al mismo.
- Antes de colocar el acero de refuerzo debemos contar y verificar con el trazo del elemento estructural a armarse y colocarle las diferentes silletas tales que permitan cumplir con los recubrimientos especificados en el proyecto.

- Al colocar el acero de refuerzo, los traslapes no deberán ser colocados en un mismo plano horizontal, sino solo en un 30% del plano horizontal o vertical.
- Cuando el proyecto no determine otra cosa, los traslapes deberán tener una longitud de 40 veces el diámetro para varilla corrugada y de 60 veces el diámetro para varilla lisa. Se deben colocar en los puntos de menor esfuerzo de tensión, nunca en lugares donde la sección no permita una separación mínima libre de 1.5 veces el tamaño del agregado grueso, entre el empalme y la varilla más próxima.
- En las varillas de más de 1" de diámetro el empalme será a tope, los extremos de las varillas se unen mediante soldadura de arco la cual debe estar calificado el proceso (WPS) mediante pruebas destructivas y no destructivas del proceso u otro procedimiento autorizado por la norma AWS.
- Una vez terminado el proceso de colocación del acero de refuerzo se hará una inspección física para verificar dimensiones, separaciones, sujeciones, alineamiento y posición. Además de verificar que el acero esté libre de lodos, aceites u otros contaminantes que pudieran afectar y disminuir su adherencia con el concreto. (Foto 1.9)



Inspección de armado de acero de refuerzo.

Foto 1.9 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Area: digestión anaerobia. Muro de biodigestor.

## 1.5 Procedimiento para concretos.

El objetivo de este procedimiento es establecer los lineamientos necesarios para realizar, controlar e inspeccionar las actividades de suministro, colocación y terminado del concreto en elementos estructurales y albañilerías. Así como la metodología para realizar las actividades de pruebas y ensayos para determinar la resistencia de los concretos utilizados.

Procedimiento de inspección antes del colado:

- Se deberá inspeccionar el armado de acero de refuerzo, es decir revisar, diámetros, longitudes, separaciones, traslapes, amarres, recubrimientos y limpieza de las varillas. (*Foto 1.10*)



Foto 1.10 Construcción puente Rio El Salto. Pila margen derecha del rio Tula.

Inspección del recubrimiento. Armado y cimbrado de columna circular.

- Se inspeccionara la cimbra para que esté en su posición conforme a proyecto (alineamiento vertical y horizontal) y libre de partículas extrañas.
- Se deberá contar con la presencia del laboratorio de control de calidad.
- Se deberá contar con suficientes vibradores para utilizarse en caso de descomposturas, luminarias para el caso de colados nocturnos, plantas de luz en caso necesario, aditivos para juntas frías en caso necesario y finalmente con el equipo y herramienta necesario (reglas, llanas metálicas, reglas vibratorias, etc.).
- Deberá de tomarse en cuenta la temperatura del concreto, considerando que no exceda los 305 K (32°C) ni rebase un mínimo de 283 K (10°C), esto de acuerdo



a la norma NMX-C-155-ONNCCE-2004 sección 5.2.3 Temperatura del concreto fresco en climas extremos.

- En caso que sea concreto premezclado se deberá inspeccionar el documento con las propiedades del concreto (remisión de la concretera), verificando las especificaciones como son resistencia nominal, revenimiento, tiempo de salida de la planta concretera.

Procedimiento de inspección durante el vaciado de concreto:

- El concreto debe vaciarse lo más cercano a su posición definitiva. Se debe colocar en capas sensiblemente horizontales y de espesor uniforme, consolidando adecuadamente cada capa antes de colocar la siguiente. No se permitirá la caída libre del concreto a más de un metro y medio de altura (según lo especificado en el reglamento de construcción ACI 318-R-02).
- El vaciado una vez iniciado no deberá ser interrumpido (solo en casos de fuerza mayor). En la eventualidad de interrupción de este, la superficie se debe de escarificar y limpiar para garantizar la perfecta adherencia de las capas o secciones sucesivas.
- La descarga total del concreto debe hacerse dentro de los 90 minutos posteriores a la introducción del agua de mezclado, según la norma NMX-C-155-ONNCCE-2004 en su apéndice normativo D.- Transporte y entrega.
- Cuando el molde sea alto y estrecho (como en el caso de muros verticales) se deben hacer aberturas en los costados del mismo por donde se pueda introducir el concreto y garantizar la altura de vaciado.
- No se lleva a cabo el vaciado de concreto durante fuertes y prolongadas lluvias, pues pueden lavar la pasta de agua-cemento del agregado fino y del agregado grueso. O en caso de una lluvia intermitente, proteger la superficie del concreto a fin de evitar lavados superficiales.
- El vibrado es necesario para consolidar verticalmente el concreto. En la compactación de la capa superior, el vibrador debe penetrar en la capa anterior solo 20 mm aproximadamente, (de acuerdo a la norma NMX-C-162-ONNCCE-2000, punto 8.2 Vibración interna) antes de colocar la siguiente capa.
- El vibrado excesivo debe evitarse pues sería posible una segregación de la mezcla de concreto.
- Durante el vibrado del concreto debe ser evitado el contacto de los vibradores con la cimbra y con el acero de refuerzo, pues existe la posibilidad de desnivelación y desplazamiento de estos elementos.
- Cuando se vacía concreto fresco sobre endurecido, se requiere una adherencia adecuada y una junta hermética para la cual se requiere escarificar el concreto endurecido retirando las capas superficiales hasta dejar expuesto un concreto



sano e inalterado. Antes de iniciar el colado se limpia perfectamente la superficie de contacto del concreto endurecido, el cual debe ir precedido de una lechada de agua-cemento o de algún aditivo líquido para unir concreto fresco con endurecido. El proporcionamiento del aditivo debe ser el indicado en la ficha técnica del fabricante.

Procedimiento de inspección después del vaciado de concreto:

- Finalmente se procede a curar el concreto, es decir mantener húmeda la superficie durante un periodo de 7 días posteriores a su colocación o aplicar un aditivo especial para evitar la pérdida de humedad (por evaporación). Esto para evitar el agrietamiento por contracción, pues el cemento contenido en la mezcla de concreto al hidratarse, experimenta una contracción. (Foto 1.11)



Foto 1.11 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Edificio de deshidratación de lodos.

Curado de losa de azotea por inundación. Durante 7 días.

Procedimiento de control de calidad de resistencia del concreto:

Revisión de documentación del concreto fresco premezclado.

- La documentación que debe ser revisada a la llegada del camión revolvedor que contiene el concreto fresco es la remisión de entrega impresa y debe contener los siguientes datos: Nombre de la planta premezcladora, número de serie de la remisión, fecha, número de camión revolvedor, nombre del comprador, designación específica de la obra (nombre y localización), resistencia nominal del concreto, clase del concreto, tipo de cemento utilizado en la mezcla, tamaño máximo del agregado grueso, volumen en  $m^3$ , hora de salida del camión revolvedor de la compañía premezcladora (el tiempo no debe exceder de 90 minutos hasta la colocación del concreto).

### Obtención de la temperatura del concreto fresco.

- Se obtiene la muestra del camión que lo traslada y se lleva hasta el sitio de la prueba.
- Se debe determinar la temperatura del concreto fresco dentro de los cinco minutos posteriores a la toma de la muestra.
- Se coloca el termómetro (este debe ser bimetálico) en la mezcla de concreto fresco de modo que el sensor de temperatura este sumergido por lo menos 75 mm.
- Se presiona suavemente el concreto alrededor del sensor de modo que la temperatura ambiental no afecte la medición.
- Se deja el termómetro en el concreto por un periodo mínimo de 2 minutos o hasta que aguja indicadora se estabilice.
- Se toma la lectura de la temperatura sin retirar el sensor del concreto.

### Determinación del revenimiento del concreto fresco.

- Se obtiene la muestra del camión que lo traslada y se lleva hasta el sitio de la prueba.
- Se remezcla el concreto con un cucharón dentro de la carretilla que lo contiene.
- Se coloca la placa metálica en un lugar sensiblemente horizontal, el cono se coloca al centro de esta y se sujetan los estribos del cono con los pies presionándolos a la placa para evitar que se mueva.
- Se acerca la carretilla con el concreto y se toma con el cucharón una porción de concreto y se llena el cono hasta una altura de 70 mm.
- Con la varilla de punta esférica, se compacta el concreto vaciado con 25 penetraciones de la parte exterior hacia el centro, en la primer capa se debe inclinar un poco la varilla. Las primeras 8 penetraciones se deben hacer en el perímetro del cono y luego seguir las en espiral hacia el centro (esta operación se realiza 3 veces hasta llenar el cono). (*Foto 1.12*)
- Se enrasa el concreto en el cono con la varilla y se limpia el concreto sobrante en la placa (sin dejar de presionar el cono a la placa con los pies).
- Se levanta el cono sobre su diámetro menor y se coloca encima la varilla para medir la diferencia de altura de la parte superior del cono (centro desplazado del cono de concreto) y la parte inferior de la varilla.
- Si el revenimiento no cumple con la solicitud del cliente se podrá tomar una segunda muestra, re mezclando la muestra tomada y realizar otra prueba, si no cumple, el concreto será rechazado.

Tabla de tolerancias en revenimiento:

Revenimiento especificado	Tolerancia en cm
Menos de 5 cm	+/- 1.5 cm
De 6 a 10 cm	+/- 2.5 cm
Más de 10 cm	+/- 3.5 cm



Prueba de revenimiento de concreto fresco.

Foto 1.12 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Muestreo en la planta concretera Moctezuma.

### Elaboración y curado de especímenes de concreto para pruebas de resistencia a compresión simple.

Cuando el curado en el sitio es normal, para cada muestra se debe contar con 4 cilindros de concreto de 15 cm x 30 cm, a menos que la especificación particular del proyecto determine otra cantidad o se acepte una muestra reducida. En concretos de alta resistencia es posible usar cilindros de 10 cm x 20 cm o de 11 cm x 22 cm previa autorización de la supervisión.

Se obtendrá una muestra de 4 probetas de concreto cada 40 m<sup>3</sup> suministrados o por fracción.

- Se colocan los moldes en una superficie horizontal, rígida, nivelada, libre de vibraciones, donde no estorben el tránsito tanto de maquinaria como de personal, de preferencia bajo techo.
- Se toma la muestra de concreto de la misma remesa de la utilizada para el revenimiento.



- Se remezcla el concreto con el cucharón y se vacía en los moldes. Se debe girar el cucharón alrededor del borde superior del molde a medida que el concreto vaya descargándose para lograr una distribución homogénea y minimizar la segregación del agregado grueso.
- Los moldes cilíndricos se llenan en 3 capas de igual espesor, se compacta cada capa con 25 penetraciones con el extremo redondeado de la varilla, las penetraciones deben estar distribuidas en forma espiral desde la orilla del molde hasta terminar en el centro, la varilla debe penetrar en la primer capa todo el espesor, evitando golpear la base, en la segunda y tercer capa debe penetrar 20 mm de la capa anterior. Finalmente se dan ligeros golpes al molde con martillo de plástico para desalojar el aire aun atrapado dentro del molde. (*Foto 1.13*)
- Una vez llenos los moldes deben evitarse golpes posteriores, inclinaciones o alteraciones a la superficie, hasta que alcancen su fraguado inicial.
- Los especímenes de concreto sin fraguar, deben cubrirse después de terminados, con la tapa del molde y con una bolsa de plástico, la temperatura de curado inicial debe oscilar de 16 a 27°C. Los especímenes deben retirarse de los moldes a las 24 horas después, almacenándolos en las piletas de curado de agua saturada de cal ( $2.5 \text{ kg/m}^3$  a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ) hasta el momento de la prueba.



Foto 1.13 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Muestreo en planta concretera Apasco.

Elaboración de cilindros de concreto para pruebas de resistencia a compresión.



### Determinación de la resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto.

- Se determina el diámetro y la altura del espécimen de un promedio de dos lecturas con una aproximación de 1mm, usando el compás de punta y una regla graduada, si la altura promedio del espécimen es menor de 1.8 veces el diámetro, se hace la corrección por esbeltez establecida en la tabla 2 de la norma NMX-C-083 Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto.
- Los valores intermedios que no aparecen en la tabla 2 pueden calcularse por interpolación.
- Se cabecea el espécimen verificando su perpendicularidad, que debe ser de 0.5 con respecto a la base (aproximadamente 3mm en 300mm).
- Se verifica que la prensa se encuentre limpia, sin fugas de aceite, que los resortes tensores estén en buenas condiciones, manómetro calibrado.
- El ensaye del espécimen debe efectuarse después de que el azufre de cabeceo haya adquirido la resistencia requerida. Durante el periodo de retiro de la pileta y el ensaye, los especímenes deben conservarse húmedos sin estibar más de dos cilindros y evitar golpes antes del ensaye.
- Se limpian las superficies de las placas y las cabezas del espécimen, se coloca el espécimen alineando el eje con el centro de la placa de apoyo, mientras la placa de carga baja hasta el espécimen procurando que exista un contacto suave y uniforme.
- Se aplica la carga a una velocidad constante de acuerdo a la tabla de aplicación de carga, hasta que aparezca la falla de ruptura, registrándola.
- Se calcula la resistencia a compresión simple del espécimen, dividiendo la carga máxima entre el área de la superficie de contacto. Se anotan los resultados en la hoja de ensaye con aproximación de 100 kPa o 1 kg/cm<sup>2</sup>.

### Obtención y muestra de corazones extraídos de concreto endurecidos.

- Se extrae el corazón ya sea de superficies horizontales, verticales o inclinadas perpendicularmente a la superficie. (*Foto 1.14*)
- La longitud de los corazones debe de ser entre una y dos veces su diámetro. (*Foto 1.15*)
- Cuando se extraen los corazones de un elemento de un ambiente superficialmente seco, se deja durante 7 días en un ambiente cuya temperatura sea de entre 15° a 26 °C y una humedad no mayor de 60 % antes de ensayarlos a compresión.
- Se cabecea el corazón con un mortero de azufre fundido de acuerdo a la NMX-C-109 y se procede al ensaye.



Foto 1.14 Construcción conexión del proyecto TEO con PTAR Atotonilco. Muro de canal de distribución.

Obtención horizontal de corazón de concreto endurecido. Muro de concreto armado.



Foto 1.15 Construcción conexión del proyecto TEO con PTAR Atotonilco. Muro de canal de distribución.

Corazón de concreto obtenido de muro de concreto armado.

## **Capítulo 2**

# **Procedimientos para elementos preesforzados**

## 2.1. Procedimiento para traveses tipo AASHTO tipo III. (Pretensado).

El objetivo de este procedimiento es establecer los lineamientos para realizar y controlar las actividades de fabricación, almacenaje, carga, transporte y montaje de traveses preesforzados AASHTO tipo III.

### Generalidades.

La fabricación de elementos de concreto normalmente se lleva a cabo en plantas fijas de producción, que cuentan con el equipo y personal especializado para elaborar bajo estrictas normas de calidad, diferentes elementos solicitados por la industria de la construcción. Dentro de las ventajas que nos da el contar con plantas de prefabricados está la de fabricar elementos de gran tamaño, peso o condiciones particulares de la obra, abatiendo importantemente el concepto de colados en sitio y todo lo que esto implica. El preesfuerzo se puede dividir en dos grandes grupos de acuerdo al instante y método de aplicar tensión al elemento: Pretensado y Postensado. En estos principios y normas se hará referencia al proceso que se lleva a cabo en la fabricación de **elementos pretensados** y mencionaremos algunas variantes que se presentan en procesos de obra.

### Manejo de materiales.

Algunas consideraciones en cuanto al manejo de los materiales en la planta.

- Los agregados deben manejarse y almacenarse de tal forma que aseguren la uniformidad en su granulometría y humedad.
- Para evitar que se mezclen los diferentes tipos de agregados es recomendable separarlos por paredes o mamparas.
- El agregado fino deberá manejarse húmedo, para minimizar que se separe por la acción del viento.
- El cemento a granel deberá almacenarse en silos sellados contra el agua, humedad y contaminantes externos. Los silos deberán vaciarse completamente por lo menos una vez al mes para evitar que el cemento se compacte. Cada tipo y marca de cemento deberá almacenarse separadamente para evitar variaciones en el color de las piezas terminadas y falta de control de las características del concreto (resistencia y modulo elástico). El cemento se almacenara en silos y por marca específica de cemento.
- El cemento en bolsa deberá almacenarse en pilas sobre tarimas de madera que eviten el contacto con la humedad y permitan la circulación del aire, también se



protegerán con una cubierta impermeable y se deberán utilizar siempre las primeras bolsas almacenadas.

- Para los aditivos desmoldantes y pigmentos, cada fabricante especifica la forma de almacenarlos; seguir las indicaciones del fabricante asegurara el buen funcionamiento y durabilidad del producto. No estará permitido el uso de aditivos con contenido de cloruros que afecten el acero de preesfuerzo.
- El acero de preesfuerzo deberá almacenarse en lugares cubiertos o protegerlos con cubiertas impermeables para evitar la corrosión.

### Moldes

La apariencia en la superficie de cualquier elemento precolado está directamente relacionada con el material y la calidad de los moldes. Estos se pueden hacer de distintos materiales como madera, concreto, acero, resinas epoxicas, plástico, fibra de vidrio con resinas de poliéster o una combinación de estos materiales. Para la fabricación de elementos estructurales, los moldes son generalmente de acero por el mayor aprovechamiento que se le da en cuanto a la cantidad de usos. Los moldes deberán fabricarse lo suficientemente rígidos para poder soportar su propio peso y la presión hidrostática del concreto fresco, sin deformarse más allá de las tolerancias convencionales.

### Mesas o líneas de producción.

Las líneas de producción en una planta de prefabricados pueden ser de una gran longitud. La longitud de las mesas varía de acuerdo a las limitaciones de espacio de las plantas, entre 60 y 150 m. El preesforzado simultáneo de varios elementos a la vez en una misma mesa tiene como resultado una gran economía de mano de obra, además de eliminar el costoso herraje del anclaje en los extremos, propios del postensado.

En el sistema de pretensado los torones de preesfuerzo se anclan previos al colado de la pieza. Estos soportes sobre los que se anclan los cables en las mesas se llaman cabezales o traversas y están localizadas en los extremos de la mesa. Los cabezales son cajones metálicos que transmiten el esfuerzo de los cables (hasta 1500 toneladas de capacidad) a la mesa de preesfuerzo (columnas metálicas o de concreto) y que posteriormente será inducida a los elementos, cuando el concreto alcance una resistencia aproximada de su 90% de su  $f'c$ .

Es importante insistir en el especial cuidado en la distribución de los cables, haciendo que la resultante del esfuerzo coincida con el centro de gravedad de la mesa. (Norma NMX-CC-9001IMNC-2000).



## Proceso de prefabricado.

- Limpieza del área del trabajo y molde. Esta actividad consiste en mantener limpias las áreas de trabajo para evitar accidentes, desperdicios y mala calidad en los trabajos. En cuanto a la limpieza del molde, es necesario hacer los resanes en juntas y defectos con pasta, una vez seca la pasta se lijara para dar el acabado final, ya terminados todos los resanes se limpiara el molde.
- Trazo de la pieza. Limpio el molde se procederá a verificar la nivelación, alineación y la relación de centros de gravedad entre mesa y molde para evitar excentricidades fuera de la capacidad de la mesa. Posteriormente se procederá al trazo de la geometría de la pieza sobre el molde para así poder colocar las fronteras necesarias. A continuación se aplicara desmoldante de preferencia líquido.
- Habilitado de acero de refuerzo (pasivo). El habilitado del acero de refuerzo se realizara considerando los mismos parámetros de control de calidad del capítulo de Procedimiento para acero de refuerzo (pasivo).
- Habilitado de acero de preesfuerzo. Se cortara el torón considerando la longitud de la mesa, más una longitud de aproximadamente 30 cm de cada extremo para la colocación de chucks y tensado. En el caso de utilizar chucks dobles se hará de acuerdo a la posición donde se puedan colocar estos. Los torones ya habilitados se colocaran sobre una cama de concreto, para que no se contaminen con tierra u otro material nocivo, evitando así mismo pasarlos sobre cables de energía eléctrica o de plantas de soldar, ya que una descarga eléctrica provocado por los cables ocasionara que el torón se altere y pueda reventarse provocando un accidente en el momento de tensarse.
- Ductos. Los ductos se habilitaran de acuerdo a la geometría que marca el proyecto, por lo que el material de estos variara según este último. Por lo que podrán ser de tubo de PVC, tubo metálico, etc. Estos ductos indistintamente del material que sean, es recomendable que sean engrasados y forrados con cartón para facilitar su retiro salvo que el proyecto considere que el ducto lleve una camisa.
- Armado de acero de refuerzo (pasivo). El armado se hará fuera de la mesa pero lo más cerca posible para evitar traslados excesivos y con la anticipación necesaria para no causar atrasos en los procesos siguientes, dos a tres días antes de la siguiente actividad. Los accesorios serán colocados durante este proceso. Se recomienda una revisión final para verificar cantidad de estribos, diámetros de los mismos, posición, cantidad de varillas longitudinales, traslapes, pasos para ductos, pasos para torón, posición de diafragmas, cantidad y posición de accesorios, recubrimientos (tamaño y colocación de separadores para brindar el recubrimiento especificado.)



- Control de calidad del acero de preesfuerzo (torones).
- El material para la fabricación de los torones será acero al carbono. Debido a que los torones se producen básicamente por sus propiedades mecánicas, no se especifica la composición química de los alambres y por consiguiente no es necesario identificar la colada, ya que es posible que se requieran alambres provenientes de diferentes coladas, para fabricar el paquete o rollo. La verificación de los torones consistirá en identificar los rollos o carretes como los suministra e informa el fabricante.
- Los torones tendrán un diámetro uniforme, sin defectos perjudiciales.
- Cuando el torón se corte, sin sujetadores, los alambres no deben quedar fuera de su posición. Cuando uno o varios alambres queden fuera de su posición y sea posible acomodarlos manualmente, el torón se considerara como satisfactorio.
- No se aceptaran juntas ni traslapes en la longitud total de los torones.
- La oxidación no será motivo de rechazo siempre que está no haya causado picaduras visibles a simple vista.
- La resistencia a la tensión del torón, determinada de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-2-03-002 Resistencia a la tensión de productos metálicos, deberá cumplir con los requisitos de resistencia a la ruptura indicados en la siguiente tabla.

<b>Diámetro nominal del torón (mm)</b>	<b>Carga inicial</b>	<b>Carga mínima para alargamiento del 1%</b>	<b>Resistencia a la ruptura mínima.</b>
<b>Grado 176</b>			
6,35	4000 (408)	34 000 (3 466)	40 000 (4 077)
7,94	6 500 (663)	54 700 ( 5 576)	64 500 (6 575)
9,52	8 900 (907)	75 600 (7 706)	89 000 (9 072)
11,11	12 000 (1 223)	102 300 ( 10 428)	120 100 (12 242)
12,70	16 000 ( 1 631)	136 200 ( 13 884)	160 100 (16 320)
15,24	24 000 (2 661)	204 200 (20 815)	240 200 (24 485)
<b>Grado 190</b>			
9,52	10 200 (1 040)	87 000 ( 8 869)	102 300 (10 428)
11,11	13 800 (1 407)	117 200 (11 947)	137 900 (14 057)
12,70	18 400 (1 876)	156 100 (15 912)	183 700 (18 726)
15,24	26 100 (2 661)	221 500 ( 22 579)	260 700 (26 575)

Unidades en N (kg)



- El límite de fluencia mínimo del torón, determinado por el método de deformación bajo carga para una deformación bajo carga para una deformación del 1%, no será menor del 85% de la resistencia de ruptura mínima indicada en la tabla anterior.
- El alargamiento del torón, determinado según se indica en el manual M-MMP-2-03-002 Resistencia a la tensión de productos metálicos cumplirá con los valores indicados en esta sección considerando lo siguiente: el alargamiento total del torón bajo carga, será como mínimo del 3.5%, con base a una longitud calibrada de 610 milímetros. Cuando las probetas que se rompan fuera de la zona calibrada y que cumplan con los valores mínimos establecidos, se considerara que satisfacen los requisitos de alargamiento. Si se cumple con el requisito de alargamiento mínimo antes de la ruptura, no será necesario determinar el valor de alargamiento hasta la carga de ruptura.
- Los torones de bajo relajamiento cumplirán con los requisitos físicos descritos en este apartado para torones relevados de esfuerzos, además de que el relajamiento, es decir, la pérdida de tensión después de 1000 horas a una temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , no será mayor de 2,5%, cuando la carga inicial sea del 70% de la carga de ruptura mínima especificada del torón, o no mayor de 3,5%, cuando se cargue al 80% de la carga de ruptura mínima especificada.
- En la designación o marcado del torón debe incluirse como mínimo, datos tales como nombre del material, grado, diámetro, longitud, tipo de embalaje, requisitos especiales si se requieren. Cada carrete o rollo de torón llevara 2 etiquetas resistentes, firmemente adheridas, en las que se indique la longitud, número de carrete, tamaño, grado y el nombre o marca del fabricante. Una etiqueta deberá colocarse en el centro del carrete o rollo de forma que no se extravié durante el traslado y la otra etiqueta deberá colocarse en la parte exterior donde sea accesible para una fácil identificación.
- Colocación del armado dentro del molde. La colocación del armado dentro del molde se hará por medio de grúas sobre camión o grúas pórtico auxiliándose con una estructura para evitar que el armado se deforme. Una vez dentro se verificara que coincida con los trazos que se hicieron previamente en el molde, ajustándose la posición de los accesorios, pasos para ductos, diafragmas y recubrimientos. (Foto 2.1)



Foto 2.1 Planta de elementos prefabricados. Preteconcreto. Teoloyucan Estado de Mexico.

Colocación del acero (convencional y de preesfuerzo) dentro del molde de una trabe AASHTO tipo III.

- Enhebrado de cables. Esta actividad variara dependiendo del tipo de traves o elementos que se trate (losas doble TT, T, traves o columnas), ya que en el caso de las traves cajón el enhebrado se tendrá que hacer antes de colocar el aligeramiento incluso podrá hacerse fuera del molde teniéndose como única limitante el equipo con que se vaya a introducir los armados, puesto que implicara meter los armados al mismo tiempo o bien tener los suficientes Chucks dobles para unir los cables entre cada una de las piezas. En el caso de gradas el enhebrado se tendrá que hacer hasta que el armado este dentro del molde ya que la mayoría de los cables se localizan en la losa además de que se tiene que armar primero la parrilla inferior de la losa puesto que cuenta con dos parillas. Para el caso de las traves AASHTO tipo III los cables se colocaran en la parte inferior de la trabe. Durante esta actividad se colocaran las mangueras que sirven de engrase, por lo que deberá cuidarse cada una de las posiciones de los cables, así como también evitar entrecruzamientos entre cable y cable o entre cables y estribos. Para tener un control más adecuado sobre el enhebrado se enumeran cada uno de los orificios de las placas guía y se colocara una placa guía auxiliar al centro del elemento, la cual se fabricara con placa de desecho y con características adecuadas para que pase el concreto y no quede expuesta. En este caso la guía se coloca en el tapón, todo esto con el fin de que los cables queden en posición correcta y no tengamos problemas al momento del tensado. (Foto 2.2)

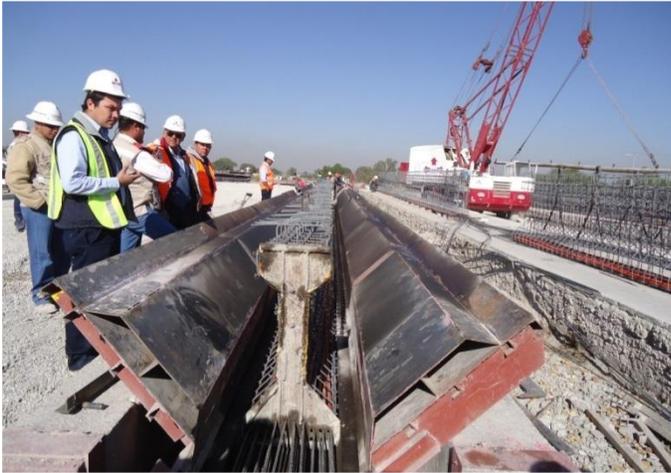


Foto 2.2 Planta de elementos prefabricados. Preteconcreto. Teoloyucan Estado de Mexico

Armado y cimbrado de trabe AASHTO tipo III. Se aprecia el acero de preesfuerzo en la parte inferior de la viga.

- Tensado de cables longitudinales. Por medio de la unidad de tensado se estiraran los cables de uno en uno, será importante que durante el tensado se mantenga el centro de gravedad en su posición ya que de lo contrario podría ocurrir que la placa guía o las transversas se levanten, para controlar esto se deberá tensar en forma simétrica tanto en sentido vertical como horizontal. Durante esta operación se recomienda retirar al personal que esté trabajando cerca de la mesa ya que podría reventarse un cable y provocar un accidente. En cada tensado se revisara que los chucks estén en buen estado. Para controlar la tensión se harán las gráficas esfuerzo-deformación, y si existe alguna desviación mayor a la tolerable entre la deformación real y la teórica se revisara y ajustara el sistema de medición de la unidad de tensado.
- Tensado de torones transversales. Para el caso que existan torones transversales se aplicara este tensado. Para este tipo de tensado se contara con una estructura en forma de marco la cual soportara la carga temporal del preesfuerzo que posteriormente y en el momento oportuno se inducirá a la pieza. El tensado de estos cables se hará con un par de cilindros hidráulicos “PowerTeam” de simple acción con regreso por resorte, modelo RH1006 de 100 toneladas cada uno. El procedimiento de tensado será por medio de 2 canales por los cuales se pasaran los torones y se anclaran con sus respectivos chucks, este par de canales serán jalados por cilindros hidráulicos los cuales a su vez tensaran los torones que en este caso serán de 15 en 15 hasta completar todo el elemento. Antes de comenzar a aplicar el esfuerzo con cilindro hidráulico, se les



aplicara un esfuerzo manual a los cables para que no existan diferencias entre los diferentes cables y la carga se reparta uniformemente en cada uno de estos.

- Colado. La colocación se hará comenzando de uno de los extremos teniendo cuidado que no se acumule el concreto y revisando el correcto llenado. La compactación del concreto se realizara con vibradores de inmersión con un diámetro de cabeza de 50mm y una frecuencia de vibración de 140 a 210 Hz.
- Muestreo de concreto. Consiste en obtener los especímenes que nos servirán de referencia para el destensado de los cables y para determinar la resistencia a las diferentes edades. Se sacaran 5 muestras en el extremo, 5 en el centro y 5 en el otro extremo.
- Extracción de la viga. Si la resistencia de los cilindros se encuentra dentro del rango de 90% de la resistencia de proyecto de las vigas se procede a inducir el preesfuerzo a los elementos. Para que el golpe al corte del torón no sea brusco se aplicara la flama del soplete en una longitud de 10 a 20 cm. De tal forma que el torón sufra un relajamiento y por lo tanto una pérdida del preesfuerzo y por consiguiente un golpe más ligero a la pieza. Este corte se tendrá que hacer en forma simétrica, además que tendrá que ser simultáneo tanto en los extremos como entre pieza y pieza para evitar esfuerzos diferenciales en la mesa. Ya liberadas totalmente las piezas, se procederá a retirar las columnas del preesfuerzo transversal. A continuación se extraerán las piezas con las grúas pórtico que se tendrán para maniobras en la planta. Al momento que salga del molde se revisara para detectar los detalles que tengan que corregirse.
- Detallado de las piezas. El detallado de la pieza comienza desde que sale del molde. En este momento es cuando se detectaran los detalles como despostillamientos, oquedades, recortes de puntas de torón, resane con grout no metálico, limpieza de accesorios, colado de parapeto, verificación de drenes, marcado de identificación y orientación.

## 2.2 Procedimiento para traveses tipo NU tipo Nebraska University. (Postensado).

El objeto de este procedimiento es establecer los lineamientos para realizar y controlar las actividades de fabricación, almacenaje, carga, transporte y montaje de traveses de concreto NU (Nebraska University) las cuales son elementos sometidos a **postensado**.

Este tipo de traveses NU tiene un gran patín superior para mejorar la resistencia al momento negativo en claros largos y continuos. Está diseñada para permitir la colocación de un gran número de torones, esto es particularmente útil cuando se utiliza concreto de alta resistencia.

Este procedimiento considera la fabricación de los traveses en sitio, es decir muy próximas al lugar de su colocación definitiva.

### Procedimiento constructivo

#### Preliminares, habilitado y colocación de acero de refuerzo convencional.

- Limpieza del área de trabajo para evitar accidentes, desperdicios, mala calidad en los trabajos y para poder colocar la plantilla.
- La plantilla de concreto estará ubicada lo más cercano al puente. Calidad del concreto de la plantilla  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ .
- El habilitado de acero de refuerzo convencional se realizará de acuerdo a lo especificado en el proyecto y en base a un estudio que se haga del máximo aprovechamiento de las varillas que se suministran en una longitud de 12 m. estudiándose en esta etapa los diferentes problemas que se puedan presentar entre cruzamiento de varillas, accesorios, ductos, traslapes, torones, soldadura de varilla y ganchos de izaje.
- Las varillas de acero de refuerzo convencional no deberán tener exceso de óxido suelto antes de colocarse. Las varillas ya colocadas que deban quedar expuestas más de dos semanas antes de recibir el concreto se protegerán debidamente para evitar la oxidación.

Acero de preesfuerzo

- El torón de preesfuerzo se suministra en rollos, éstos no deben desmantelarse ni someterse a la intemperie, para lo cual deben ser almacenados sobre bases de madera que impidan su vuelco y ser cubiertos con materiales resistentes al agua (lona). Sí el ambiente es demasiado húmedo o salino se debe aplicar aceite soluble a la capa exterior del rollo. Cada rollo de torón debe tener su identificación y su reporte de características (diámetro, área nominal, peso unitario y datos de la curva de esfuerzo-deformación).
- Los torones se clasifican en dos grados según su resistencia última mínima, como se indica en la tabla siguiente, tomada de la norma N-CMT-02-03-002/04 de la SCT.

<b>Grado</b>	<b>Resistencia última MPa (kg/cm<sup>2</sup>), mínimo</b>
176	1 725 (17 590)
190	1 860 (18 967)

- El material para la fabricación de los torones será acero al carbono. Debido a que los torones se producen básicamente por sus propiedades mecánicas, no se especifica la composición química de los alambres y por consiguiente no es necesario identificar la colada, ya que es posible que se requieran alambres provenientes de diferentes coladas, para fabricar el paquete o rollo. La verificación de los torones consistirá en identificar los rollos o carretes como los suministra e informa el fabricante.
- Los torones tendrán un diámetro uniforme, sin defectos perjudiciales.
- Cuando el torón se corte, sin sujetadores, los alambres no deben quedar fuera de su posición. Cuando uno o varios alambres queden fuera de su posición y sea posible acomodarlos manualmente, el torón se considerara como satisfactorio.
- No se aceptaran juntas ni traslapes en la longitud total de los torones.
- La oxidación no será motivo de rechazo siempre que está no haya causado picaduras visibles a simple vista.

- La resistencia a la tensión del torón, determinada de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-2-03-002 Resistencia a la tensión de productos metálicos, deberá cumplir con los requisitos de resistencia a la ruptura indicados en la siguiente tabla.

Diámetro nominal del torón (mm)	Carga inicial	Carga mínima para alargamiento del 1%	Resistencia a la ruptura mínima.
<b>Grado 176</b>			
6,35	4000 (408)	34 000 (3 466)	40 000 (4 077)
7,94	6 500 (663)	54 700 ( 5 576)	64 500 (6 575)
9,52	8 900 (907)	75 600 (7 706)	89 000 (9 072)
11,11	12 000 (1 223)	102 300 ( 10 428)	120 100 (12 242)
12,70	16 000 ( 1 631)	136 200 ( 13 884)	160 100 (16 320)
15,24	24 000 (2 661)	204 200 (20 815)	240 200 (24 485)
<b>Grado 190</b>			
9,52	10 200 (1 040)	87 000 ( 8 869)	102 300 (10 428)
11,11	13 800 (1 407)	117 200 (11 947)	137 900 (14 057)
12,70	18 400 (1 876)	156 100 (15 912)	183 700 (18 726)
15,24	26 100 (2 661)	221 500 ( 22 579)	260 700 (26 575)

Unidades en N (kg)

- El límite de fluencia mínimo del torón, determinado por el método de deformación bajo carga para una deformación bajo carga para una deformación del 1%, no será menor del 85% de la resistencia de ruptura mínima indicada en la tabla anterior.
- El alargamiento del torón, determinado según se indica en el manual M-MMP-2-03-002 Resistencia a la tensión de productos metálicos cumplirá con los valores indicados en esta sección considerando lo siguiente: el alargamiento total del torón bajo carga, será como mínimo del 3.5%, con base a una longitud calibrada de 610 milímetros. Cuando las probetas que se rompan fuera de la zona calibrada y que cumplan con los valores mínimos establecidos, se considerara que satisfacen los requisitos de alargamiento. Si se cumple con el requisito de alargamiento mínimo antes de la ruptura, no será necesario determinar el valor de alargamiento hasta la carga de ruptura.
- Los torones de bajo relajamiento cumplirán con los requisitos físicos descritos en este apartado para torones relevados de esfuerzos, además de que el relajamiento, es decir, la pérdida de tensión después de 1000 horas a una temperatura de 20+-2°C, no será mayor de 2,5%, cuando la carga inicial sea del 70% de la carga de ruptura mínima especificada del torón, o no mayor de 3,5%, cuando se cargue al 80% de la carga de ruptura mínima especificada.

- En la designación o marcado del torón debe incluirse como mínimo, datos tales como nombre del material, grado, diámetro, longitud, tipo de embalaje, requisitos especiales si se requieren. Cada carrete o rollo de torón llevara 2 etiquetas resistentes, firmemente adheridas, en las que se indique la longitud, número de carrete, tamaño, grado y el nombre o marca del fabricante. Una etiqueta deberá colocarse en el centro del carrete o rollo de forma que no se extravié durante el traslado y la otra etiqueta deberá colocarse en la parte exterior donde sea accesible para una fácil identificación.
- Los anclajes, ductos, acopladores y materiales complementarios deben estar preservados de la acción del medio ambiente y almacenados de forma que se eviten daños a las piezas. Las instalaciones de obra deben incluir un área de almacén donde puedan resguardarse dichos equipos.
- Se continúa con el trazado de los cables y colocación de silletas para los ductos. Para esta operación deben estar ajustados los moldes, a los cuales se refieren las distancias que definan sus trayectorias en el proyecto. (*Foto 2.4*)
- Habilitado, tendido y cierre estanco de ductos engargolados. Los tramos de ductos se empatan por medio de coples, después se sellan estas uniones y todos los puntos donde pudiera entrar lechada de concreto al momento del colado. Se recomienda el uso de espuma de uretano. (*Foto 2.3*)



Foto 2.3 Construcción de puente Rio El Salto. Atotonilco, Hidalgo. Trabes postensadas tipo Nebraska.

Armado. Acero convencional y acero de postensado en trabe NU. Se aprecia la colocación de ductos que alojaran los torones de preesfuerzo.



Foto 2.4. Construcción de puente Rio El Salto. Atotonilco, Hidalgo. Trabes postensadas tipo Nebraska

Colocación del molde, previa inspección del acero convencional y el acero de preesfuerzo (trazado de cables).

- Colocación de culatas de anclaje y refuerzos. Cada culata de acero debe ir fijada al molde que forma la cara del concreto en el extremo de anclaje. Esta placa-molde debe llevar la inclinación que marque el proyecto con el fin de que la cara de concreto sea perfectamente perpendicular a la trayectoria del cable. El extremo del ducto engargolado se introduce en el cono de anclaje y la unión se sella con cinta. El proyecto debe definir el refuerzo que se colocará en cada anclaje.
- Colocación de aditamentos para inyección. Los respiraderos se amarran a los ductos en los siguientes puntos:
  - a) En los extremos.
  - b) A cada 20 m del ducto.
  - c) En los puntos alto cuando el cable tiene varias curvaturas.
- Las boquillas se colocan en los orificios provistos en las culatas de anclaje. En ambos casos se conectan ductos para la salida de la mezcla.
- Al utilizar anclajes pasivos ahogados en el concreto, debe colocarse el cable dentro del ducto antes del colado. En ese caso dependiendo de los medios de izaje con que se cuente en la obra se puede pre insertar el cable y colocar el conjunto cable-ducto.

### Colado de trabe

- Antes del colado de la trabe, se verificará la posición exacta de cada ducto según el trazo indicado.
- Para la colocación del concreto dentro del molde se iniciará por uno de los extremos teniendo cuidado que no se acumule el concreto en un solo sitio y



revisando el correcto llenado por los orificios que se dejan para tal fin en la cimbra o molde.

- El vibrado debe ser muy cuidadoso para evitar golpear los ductos y en las proximidades de los anclajes, para asegurar que no queden huecos que podrían provocar hundimientos al tensar. También debe vigilarse no dañar los ductos de salida de la lechada de inyección, es preferible el vibrado de contacto con los moldes.

#### Aplicación de tensión (preesfuerzo)

- La aplicación del preesfuerzo solo podrá realizarse cuando el concreto de la trabe alcance 91% de su  $f'c$  de proyecto y no antes.
- Tensado. Se cortan las puntas de los cables a una distancia de 25 cm de la placa de reparto de lado del anclaje activo y de 15 cm de lado del anclaje pasivo, se eliminan los sobrantes de ducto que hayan quedado en el interior de los conos y se coloca la placa de anclaje con sus cuñas.
- Se coloca el marco portante, la placa de acuñado y luego el gato hidráulico, estando este suspendido del dispositivo que lleva para este efecto. (*Foto 2.5*)
- Se efectúa el tensado por escalones graduales de presión hidráulica de  $100\text{kg/cm}^2$  o 100 bar según las unidades del manómetro. Esto se hace simplemente accionando la palanca de TENSADO de la unidad de bombeo. El amarre de los torones tiene lugar automáticamente.
- Durante el tensado se anotan los desplazamientos parciales del pistón en todos los escalones, excepto el de 0 a  $100\text{ kg/cm}^2$ , el cual se obtiene como el promedio de todos los parciales restantes, con lo que se absorbe el desplazamiento aparente causado por el acomodo inicial del gato y del cable. La suma de todos los parciales da el alargamiento real del cable relativo a la estructura, el cual debe contrastarse con el alargamiento esperado, que se deduce de los datos del proyecto y de las características de torón. (*Foto 2.6*)



Foto 2.5 Construcción de puente Rio El Salto. Atotonilco, Hidalgo. Trabes postensadas tipo Nebraska

Vista general de la trabe NU. Colocación de la prensa hidráulica para aplicar esfuerzo.



Foto 2.6 Construcción de puente Rio El Salto. Atotonilco, Hidalgo. Trabes postensadas tipo Nebraska

Medición de desplazamientos parciales del pistón del gato hidráulico que aplica esfuerzo.

- Se realiza el acuñado, simplemente accionando la palanca de ACUÑADO de la unidad de bombeo. La presión hidráulica puede observarse en el manómetro y sube hasta un límite previamente fijado inferior a  $200\text{kg/cm}^2$ .
- Se regresa el pistón simplemente accionando la palanca de RETROCESO de la unidad de bombeo. El desamarre se realiza automáticamente al final del retroceso quedando el gato listo para tensar de nuevo.



Flecha producida en un punto intermedio de la trabe NU, al aplicar el tensado.

Foto 2.7 Construcción de puente Rio El Salto. Atotonilco, Hidalgo. Trabes postensadas tipo Nebraska

### Ruptura o falla

- En caso de que el anclaje pasivo sufra un desprendimiento o una ruptura de un cable, se deberá retirar la carga que se esté aplicando. Posteriormente deberá ubicar el ducto que sufrió desprendimiento o ruptura y se demolerá el área de concreto donde se aloja el pasivo así como la trayectoria que sigue el cable hasta su alojamiento en el ducto.
- Una vez que los cables y el pasivo se encuentren libres y sueltos se retiran en su totalidad, se limpiara el área demolida dejándola libre de material suelto.
- Se habilitara e ingresara nuevamente al ducto la línea de cables nuevos así como el pasivo.
- Una vez dentro los cables, se cimbra el área demolida.
- Se realiza el colado del área que aloja el pasivo con cemento Grout y un adhesivo epóxico en las paredes del concreto viejo para asegurar su adherencia.
- Se espera que el concreto alcance la resistencia mínima de proyecto y se continua con el tensado.

### Tolerancia de alargamiento de torones.

- La tolerancia en el alargamiento en los cables del preesfuerzo al tensar es de 5% para torones de más de 15 metros de largo, según se menciona en el capítulo 3.8.6 del Manual para Postensado de la Administración Federal de Autopistas del Departamento de Transportes de EEUU. En el capítulo 3.10 del manual mencionado se dan referencias para la solución de posibles problemas presentados en el postensado.

### Inyección de ductos.

- Es indispensable que la inyección de lechada se realice inmediatamente después del tensado y anclado de los cables.
- Inyectado de ductos. Se cortan las puntas a una distancia de 3 cm de las cuñas. Si el elemento del concreto que se preesfuerza lleva cajetines en los extremos de anclaje éstos se cuelean con concreto de por lo menos  $250 \text{ kg/cm}^2$  para formar los tapones de inyección. Si no los lleva se colocan capuchas atornilladas a las placas de reparto que cumplen la misma función.
- Se introduce aire comprimido por uno de los ductos de inyección, esto para realizar limpieza dentro del ducto.
- Se conecta la inyectora a uno de los ductos. Se bombea agua a través de dicho ducto, de esta manera se facilita el posterior paso de la mezcla. Se realiza la mezcla de agua, cemento y aditivo con las calidades y proporciones que indica el proyecto durante un mínimo de 2 minutos.
- Se pasa la mezcla a la cubeta de inyección, donde se mantiene agitada en forma automática. Se bombea la mezcla hasta que salga con su propia consistencia por todos los ductos del cable que se inyecta. En este momento se procede a cerrarlos sin detener el bombeo con lo cual sube la presión. Cuando esta alcanza  $8 \text{ kg/cm}^2$  se cierra el conducto de entrada y se desconecta. El bombeo se puede interrumpir en cualquier momento haciendo reciclar la mezcla a la cubeta de inyección, a las 24 horas del inyectado deben revisarse todas las salidas y si el nivel de lechada es muy bajo rellenarse manualmente.
- Las pruebas que se llevaran a cabo serán Resistencia a la compresión de mortero de inyección según las normas NMX-C-083-ONNCCE-2002 y NMX-C-109-ONNCCE-2010.

### Izaje y montaje.

El montaje de las trabes, se realizara mediante el apoyo auxiliar de un dispositivo de montaje (Lanzadora de trabes), que será una armadura metálica paralela al proyecto del puente, salvando el claro del canal, a continuación se describe la secuencia de montaje e izaje desde el patio de fabricación.

- El dispositivo de montaje se armara en forma paralela al eje del puente, casi a paño de los estribos del mismo, y este a su vez estará apoyado en forma provisional en torres metálicas, mismas que serán armadas al centro del canal arriostradas entre sí. La longitud total del dispositivo será cubriendo de 3 a 4 metros adicionales a la longitud efectiva de la trabe, a fin de tener margen de maniobra para su optima colocación. (*Foto 2.8*)



Lanzadora de traves. Se aprecia el "enviolinado" a base de torones tensados.

Foto 2.8 Construcción de puente Rio El Salto. Atotonilco, Hidalgo. Traves postensadas tipo Nebraska

- El izaje de las traves en el patio de fabricación se hará mediante el auxilio de unas torres pórtico donde se colocaran unos gatos hidráulicos de barra en ambos extremos de la trabe, estas al izarse dejaran un espacio para que el Dolly se coloque debajo de la trabe y se pueda trasladar al pie del dispositivo. Como dichas traves tienen una relación de esbeltez bastante grande, para garantizar la seguridad en su traslado y posterior montaje en el lugar definitivo de proyecto, se deberán colocar en forma provisional VIOLINES a base de torón tensados entre 6 y 8 toneladas para darle rigidez a la trabe durante las maniobras de traslado e izaje.
- Una vez colocada la trabe sobre el Dolly direccional este estará de reversa a nivel de la posición del dispositivo para que mediante unos "carritos" desplazamiento la trabe deslice de extremo a extremo. (Foto 2.9)



Foto 2.9 Construcción de puente Rio El Salto. Atotonilco, Hidalgo. Trabes postensadas tipo Nebraska

Trabe NU izada y suspendida sobre Dollys del dispositivo de colocación.

- Una vez posicionada la trabe de extremo a extremo, apoyada en los 2 puntos extremos se hará la conexión con las grúas para realizar el izaje desde este punto y hacer la maniobra de colocación a su eje definitivo de proyecto. Previa colocación de los apoyos de Neopreno en los caballetes. (Foto 2.10)



Foto 2.10 Construcción de puente Rio El Salto. Atotonilco, Hidalgo. Trabes postensadas tipo Nebraska

Trabe en posición definitiva de proyecto.

- Esta maniobra se repetirá para cada una de las trabes que conforman la Superestructura y una vez montada la última trabe se procederá al retiro de estructura auxiliar (Lanzadora de trabes).

# **Capítulo 3**

## **Procedimientos especiales**

### 3.1 Procedimiento para reparación de concreto estructural.

El objetivo de este procedimiento es establecer la secuencia lógica de actividades, controles, recursos y normatividad para cumplir con la correcta ejecución de los trabajos de reparación de los elementos de concreto fabricados en obra que por diversas causas expongan el acero en los elementos estructurales. Se aplica en todos los elementos de concreto estructural que presenten huecos u oquedades al momento de descimbrar.

#### Procedimiento de reparación para oquedades de 4 cm de espesor o menores, reparación tipo 1 Reparaciones Menores:

- La orilla de la reparación será delimitada y cortada a una profundidad mínima de 10mm.
- Se demolerá toda la parte afectada abriendo caja hasta encontrar concreto sano (libre de fracturas y segregación)
- Se retira toda el agregado grueso y fino suelto con ayuda de un cepillo de alambre, se podrá hacer uso de aire a presión igualmente para la limpieza.
- Donde se encuentre acero expuesto, el concreto será removido en toda la sección hasta 25 mm por detrás del acero expuesto para asegurar la adherencia con el concreto de reparación.
- El acero expuesto se limpiara con un cepillo de alambre hasta quedar limpio de impurezas y retirando todo el concreto adherido.
- Se humedece el área a reparar hasta tenerla saturada pero superficialmente seca.
- Se aplica una capa de adhesivo de concreto (se propone Adhecón).
- Se procede a cimbrar supervisando el alineamiento horizontal y vertical con plomo y nivel de burbuja.
- La cimbra será asegurada al concreto circundante utilizando anclajes químico o epóxicos con barrenos a profundidad menores a 38mm y serán resanados con materiales epóxicos. El concreto de reparación será colocado a través de ventanas tipo "Buzón" y será compactado utilizando vibradores con diámetro máximo de 38 mm.
- Se continúa con el colado del área afectada con concreto con  $f'c$  de igual o superior calidad al elemento reparado, utilizando como cementante Grout 740  $\text{kg/cm}^2$ .
- Se descimbra después de 24 horas e inmediatamente después se cubre el elemento con membrana de curado para evitar deshidratación por evaporación.



---

Procedimiento de reparación para oquedades de 5 cm de espesor o mayores,  
reparación tipo 2 Reparaciones Grandes:

- La orilla de la reparación será delimitada y cortada a una profundidad mínima de 10mm.
- Se demolerá toda la parte afectada abriendo caja hasta encontrar concreto sano (libre de fracturas y segregación)
- Se retira toda el agregado grueso y fino suelto con ayuda de un cepillo de alambre, se podrá hacer uso de aire a presión igualmente para la limpieza.
- Donde se encuentre acero expuesto, el concreto será removido en toda la sección hasta 25 mm por detrás del acero expuesto para asegurar la adherencia con el concreto de reparación.
- El acero expuesto se limpiara con un cepillo de alambre hasta quedar limpio de impurezas y retirando todo el concreto adherido.
- Se humedece el área a reparar hasta tenerla saturada pero superficialmente seca.
- Una vez limpia y humedecida el área afectada se aplicara un aditivo químico (se propone el producto Sikadur 32 Gel de la marca Sika o Epoxine 200 de la marca Fester) que funcionara como puente de adherencia entre el concreto endurecido y el concreto fresco. Esto en base a la especificación ASTM-C-881. (especificación estándar, sistemas de unión a base de Epoxi-Resina base concreto).
- Una vez aplicada la resina epóxica, se procede a cimbrar supervisando el alineamiento horizontal y vertical con plomo, nivel de burbuja y si el área es grande se recurrirá a la topografía.
- La cimbra será asegurada al concreto circundante utilizando anclajes químico o epóxicos con barrenos a profundidad menores a 38mm y serán resanados con materiales epóxicos. El concreto de reparación será colocado a través de ventanas tipo “Buzón” y será compactado utilizando vibradores con diámetro máximo de 38 mm.
- Se procede a colar el área afectada con concreto con  $f'c$  de igual o superior calidad al elemento reparado.
- Para las reparaciones muy grandes se abrirán “Ventanas” en la cimbra para auxiliar en la colocación y compactación.
- Se descimbra después de 24 horas e inmediatamente después se cubre el elemento con membrana de curado para evitar deshidratación por evaporación.

### **3.2 Procedimiento para reparación de fisuras en elementos estructurales de concreto.**

El objetivo de este procedimiento es el sellado de fisuras de ancho mayor de 0.25mm con profundidad variable, producto de la contracción por secado y construcción plástica del concreto estructural.

#### Procedimiento de sellado de fisuras. Método 1:

Este método consiste en agrandar la fisura a lo largo de su cara expuesta y sellarla con un producto adecuado. Los selladores pueden ser de diferentes materiales, tales como, resinas epoxi, uretanos, siliconas, poli-sulfuros, materiales asfálticos, morteros de polímero. Se deberán evitar los morteros cementantes por su potencial de fisuración.

- Preparar en la superficie una ranura de profundidad variable, generalmente entre 6 mm y 25 mm. Para el cerrado de la fisura se pueden usar herramientas manuales o herramientas eléctricas. Luego la ranura se limpia con chorro de aire o agua a presión y se deja secar.
- Se coloca el sellador en la ranura y se procede al curado en caso de requerirse según las especificaciones del fabricante del producto utilizado.

#### Procedimiento de inyección de fisuras con resinas epoxi. Método 2:

La técnica generalmente consiste en establecer bocas de entrada y ventilación a intervalos poco espaciados a lo largo del desarrollo de las fisuras, sellar la fisura en las superficies expuestas e inyectar la resina epoxi a presión.

- Limpieza de fisuras. Los contaminantes tales como aceite, grasa, polvo o partículas finas de concreto impiden la penetración y adherencia de la resina epóxica. La limpieza debe realizarse con aire a presión.
- La superficie de las fisuras debe sellarse para evitar que el material epóxico salga antes de solidificarse. El sellado se puede realizar aplicando un material epóxico, poliéster u otro material sellador adecuado sobre la superficie de las fisuras y permitiendo que endurezca. Una vez finalizada la inyección de las fisuras el sellador se puede retirar. Si la apariencia de la superficie acabada es importante se pueden usar selladores cementantes.
- Instalación de bocas de entrada y ventilación. Se deberá apegar al método recomendado por el fabricante del producto de inyección.
- Inyección de la resina epoxi. Se pueden utilizar bombas hidráulicas, tanques de presión o pistolas neumáticas, la presión se debe seleccionar cuidadosamente.



Si la fisura es vertical o inclinada el proceso de inyección deberá iniciar bombeando resina epoxi en la boca de entrada ubicada a menor altura hasta que el nivel de resina llegue a la boca de entrada inmediatamente superior. Luego la boca de entrada inferior se obtura y el proceso se repite hasta llenar completamente la fisura y obturar todas las bocas. Si la fisura es horizontal, la inyección, la inyección procede de la misma manera desde un extremo de la fisura hasta el otro. La fisura está llena si la presión de inyección se mantiene constante. Si la presión no se puede mantener constante, esto significa que la resina aún está fluyendo hacia partes vacías.

- Una vez que ha fraguado la resina epoxi inyectada, el sellado superficial deberá retirarse.

### 3.3 Procedimiento para estabilización de taludes.

El objetivo de este capítulo es establecer un procedimiento para llevar a cabo trabajos de estabilización de taludes; mediante la colocación de concreto lanzado por vía húmeda, empleo de anclajes y drenes. Este procedimiento comprende las actividades de instalación de malla de refuerzo y drenes; lanzado de concreto; barrenado, armado, inyección y torque de anclas.

#### Colocación de malla de refuerzo.

- Los taludes a estabilizar deben ser perfilados perfectamente y estar libres de materiales sueltos así como de cualquier material orgánico.
- Se propone las características de la malla de refuerzo: Malla de acero electro soldada de 6x6-10/10.
- Se procede a colocar la malla de refuerzo a la pared del corte, iniciando 1 metro atrás del hombro del talud y en forma descendente hasta llegar a la parte inferior del talud, fijándola con varillas de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 60 cm de longitud. Sujetando la malla a estas varillas con alambre recocido, se colocaran en tresbolillo con separación de 2 metros entre cada una. Los traslapes entre una malla y otra deberán ser de 30 cm (2 cuadros de la malla). (Foto 3.1)



Foto 3.1 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Area: Tratamiento primario. Desarenadores.

Colocación de malla electrosoldada sobre el talud. Comenzando de arriba hacia abajo. Se aprecia el anclaje de varilla de  $\frac{1}{2}$ ".

## Drenes

De acuerdo a la norma N-CTR-CAR-1-03-012/00

- Los drenes de penetración transversal constituyen un sistema de subdrenaje, que consiste en tuberías horizontales, ranuradas e insertadas transversalmente en los taludes de cortes o rellenos para aliviar la presión de poro, en la mayor parte de los casos extrayendo agua de los suelos o rocas.
- El equipo de perforación será equipo ligero rotatorio o a percusión con martinete en el frente (downthehole), que permita perforaciones horizontales con diámetros de 75 a 150 mm en suelo o roca.
- Se deberá contar con canastillas telescópicas de accionamiento hidráulico o neumático, cuya versatilidad de movimientos permitan acercar y retirar el equipo, materiales y personal para la perforación e instalación de los drenes.
- Previo a la perforación de los barrenos, estos se ubicaran en el sitio mediante el auxilio de trazos topográficos, con base en la distribución espacial establecida por el proyecto.
- La tubería estará ranurada en toda su longitud y recubierta con un geosintético que funcionara como filtro. Para formar una línea de tubería continua se conectaran los tramos de tubería que sean necesarios. Generalmente se utilizan tubos de cloruro de polivinilo (PVC), cuyos tramos se pegan entre sí.
- A menos que el proyecto indique otra cosa, en el último tramo de entre 3 a 6 metros de longitud, se utilizara tubería no ranurada que constituya la salida del dren. El espacio entre el barreno y la tubería no perforada se sellara en un tramo de al menos 3 metros. El espacio entre el barreno y la tubería perforada no debe sellarse. En una instalación común, los extremos de los drenes se dejan de 30 a 50 cm fuera del talud para que drenen libremente.

## Concreto lanzado.

- La mezcla se elaborara con los procedimientos normales utilizados en la planta de concretos. Se fabricara con revenimiento de 8 a 10 centímetros. Y la resistencia a compresión a los 28 días deberá ser de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ .
- El transporte del concreto será realizado por los camiones revolvedores llevándolo hasta la obra para suministrarlo directamente al equipo de lanzado.
- El concreto lanzado por vía húmeda, se debe colocar dentro de los primeros 90 minutos (1 ½ hora) después de agregada el agua de mezcla. Cumpliendo así con las especificaciones de agregados, aditivos, revenimiento, temperatura y fluidez adecuada para ser manejado por el equipo de lanzado, en caso contrario se desecha la mezcla de inmediato (regresando el camión revolvedor).



- Antes de la colocación del concreto lanzado se deberá revisar toda la superficie a recubrir, inspeccionando que los posibles escurrimientos de agua no existan o en su caso estén debidamente canalizados y controlados.
- Cuando la superficie a recubrir este lista, deberá humedecerse mediante un riego con agua. Quedando saturado superficialmente seco.
- Al colocar el concreto, debe iniciarse de la parte baja del talud continuando hacia la parte superior para evitar integrar acumulaciones de material de rebote.
- La distancia entre el talud y la boquilla de lanzado debe fluctuar entre 0.80 y 1.50 metros, el flujo del concreto lanzado será orientado siempre en dirección perpendicular a la superficie en tratamiento, en ocasiones se podrá variar el ángulo de la boquilla para evitar dejar huecos detrás la malla. (*Foto 3.2*)



Foto. 3.2 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Area: Tratamiento secundario. Clarificadores secundarios.

Colocación de concreto lanzado por vía húmeda.

- La colocación debe realizarse formando arcos o elipses traslapados en aproximadamente 50 cm en el eje horizontal y en 20 cm en el eje vertical.
- Todo el material de rebote debe desecharse para no ser utilizado en nuevas aplicaciones, así mismo todo el concreto lanzado que no se haya adherido adecuadamente debe desprenderse y desecharse junto al material de rebote.
- El espesor del recubrimiento en taludes debe ser de 6 a 10 cm, esto dependerá de las especificaciones particulares de cada proyecto.

### Perforación.

- Sobre la superficie del talud, marcada la distribución de los barrenos, se coloca el equipo de perforación Track-drill o core-dril en uno de los puntos ya trazados. (*Foto 3.3*)



Equipo de perforación  
Track-drill

Foto 3.3. Imagen tomada de internet. Pagina  
cat.com

- Se verifican los grados de inclinación que tendrá el barreno con un inclinómetro que se coloca en el mástil del equipo. Los grados y el diámetro de la perforación serán los establecidos por el proyecto.
- Se inicia la perforación agregando barras de barrenación o tubos de perforación según sea el caso hasta alcanzar la profundidad requerida en cada barreno, realizando la limpieza del barreno con el mismo aire comprimido usado por el equipo y durante la misma perforación.

#### Anclas.

- Para el habilitado de anclas, se cortaran varillas ( $1 \frac{1}{2}$  de diámetro) de acuerdo a la longitud requerida, con la cuerda indicada en el proyecto.
- Se arma el ancla colocando centradores para mantenerla separada y lo más centrada posible en el barreno, los centradores se amarran con alambre recocido a la varilla a una distancia de 0.50 metros el primero y a 1.0 metros entre uno y otro hasta llegar a la longitud del ancla.
- Se instala una manguera poliducto de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro que acompaña al ancla hasta el fondo del barreno para hacer la inyección de adentro hacia afuera.
- Se introducen en la perforación las anclas armadas asegurándose de dejarla 10 cm aproximadamente antes de tocar el fondo del barreno, esto para lograr un buen recubrimiento y así evitar la corrosión en el extremo del ancla.
- Para la fabricación del mortero de inyección, se depositan en la mezcladora 40 litros de agua, 1 saco de cemento de 50 kg, 2 sacos de arena fina de 40 kg cada



uno, para producir una mezcla que tendrá una resistencia de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días. Se incluirá aditivo de expansión en 1% en peso. En caso necesario se efectuaran pruebas para verificar la dosificación.

- El mortero fabricado previamente es depositado en la tolva con forma de embudo de la misma inyectora y conectada a un pistón neumático, el cual realizara la función de bombeo, a la salida de este pistón se conecta un manómetro para monitorear la presión de inyección y a la salida de este, es colocada la manguera que transportara el mortero.
- La manguera que transporta el mortero de la inyectora es conectada por medio de una boquilla al poliducto de inyección del ancla y a través de esta es bombeado el mortero hasta el fondo del barreno siendo la inyección de adentro hacia afuera y con la presión especificada hasta llenar el espacio en toda la longitud del ancla.
- Para el torque de anclas se coloca una placa de acero de calidad ASTM A-36 de 19mm (3/4") de espesor y de 25 x 25 cm en cada ancla. Se instala una arandela galvanizada ASTM F436 para el diámetro de 38 mm (1 1/2"), así como la tuerca de 38 mm en el ancla y se procede a su apriete correspondiente manualmente, en el caso de anclas de fricción se procederá a aplicar el apriete inicial hasta que la arandela quede unida uniformemente con la placa, después se aplicara el segundo apriete hasta lograr 1/3 de vuelta. En el caso de anclas activas, se aplicara la tensión de diseño y después se apretara la tuerca antes de soltar la fuerza del dispositivo de tensión.
- Finalmente se pintan las placas de las anclas terminadas con un fondo anticorrosivo.

### Control de calidad del concreto lanzado en taludes.

La relación agua/cemento para el concreto lanzado en el lugar generalmente está comprendida entre 0.35 a 0.50 por peso.

La comprobación de los valores de resistencia a la compresión se obtiene solamente sobre la ruptura de corazones cortados, ya sea del concreto lanzado directamente del talud o de muestras representativas. El corte de corazones en el elemento mismo en general no es deseable, debiendo aumentarse el uso de tableros de prueba colocados a lo largo del área de trabajo (horizontal, vertical o hacia arriba) (*Foto 3.4*); estos tableros se hacen generalmente de madera chapada de 20 milímetros de espesor y se les colocan divisiones de malla ligera para formar unas canastillas de planta cuadrada, las que deberán ser, cuando menos de 600 mm por lado (un tamaño ideal es de 900 x 600 mm) y el concreto lanzado deberá dispararse hasta una profundidad no menor de 50 milímetros, preferentemente 75 mm, para reducir el factor de corrección altura-

diámetro de los corazones. En el tablero se deberá colocar una malla de acero similar a la que se utilizara para refuerzo, a fin de reproducir de manera adecuada las condiciones de trabajo. El muestreo deberá efectuarse en cada mezcla o día de trabajo, pero no menos de cada 40 m<sup>3</sup> colocados.

En la siguiente figura se presenta un arreglo tipo de los paneles de prueba de 600 x 900 mm y una profundidad de 140 mm.



Foto 3.4. Tableros en forma vertical.

Los paneles de prueba se deberán curar para poder obtener la resistencia de los núcleos de concreto a las 12 horas, 7, 14 y 28 días.



Foto 3.5. Núcleos extraídos de concreto lanzado.

La resistencia promedio de cada serie de núcleos probados no deberá ser menor de 0.85 f'c y ninguno elemento menor a 0.75 f'c

La resistencia a la compresión (resistencia de un cilindro normal) de concreto lanzado, frecuentemente excede a 700 kg/cm<sup>2</sup> y los refuerzos a la tensión alcanzan 40 kg/cm<sup>2</sup>.

En general, estos valores tan elevados se deben al alto grado de compactación alcanzado, al fuerte contenido de cemento y a la baja relación agua/cemento. Sin embargo, las variaciones son frecuentemente grandes y el uso de pequeñas muestras

tiende a exagerar la resistencia aparente. El diámetro recomendado para corazones de concreto lanzado (*Foto 3.5*) con un espesor hasta de 100 mm es de 50 mm y de 90 mm para espesores mayores como los que se usan en recubrimientos de túneles, paredes de tanques de almacenamiento, recubrimientos de taludes.

Existen varios factores de corrección, para la relación altura/diámetro y para el material empleado en su cabeceo. Con estos factores de corrección aplicados a las resistencias de compresión obtenidas con el corazón, se obtendrán las resistencias equivalentes a un corazón de relación de esbeltez normal. Los factores de corrección por esbeltez se indican en la norma ASTM C42.

El agua absorbida por una muestra de concreto lanzado por inmersión simple no debe exceder del 10%, siendo lo óptimo del 6 al 7%.

El uso del martillo Schmidt (esclerómetro) tiene muchas ventajas al emplearse en el concreto lanzado. Los martillos para prueba de superficie de este tipo son cada vez más confiables, teniendo también la excelente ventaja de que pueden probarse áreas extensas sin grandes dificultades. Se debe seleccionar un área plana, libre de irregularidades para efectuar la prueba; para conseguir una superficie lisa y uniforme es necesario raspar o esmerilar una pequeña área. Los valores de resistencia obtenidos por el rebote del martillo Schmidt pueden considerarse como indirectos.

### **3.4 Procedimiento para inyección de concreto en áreas socavadas.**

Este procedimiento tiene como objetivo implementar los criterios para llevar a cabo con calidad los trabajos de inyección de concreto en áreas socavadas debajo de elementos estructurales. Es decir rellenar con concreto áreas socavadas por debajo de cimentaciones.

La inyección de concreto será la acción de depositar concreto con un revenimiento alto para que pueda fluir entre el terreno y la parte inferior de la cimentación socavada.

#### Procedimiento constructivo:

- Se realizara un levantamiento topográfico de las zonas socavadas, identificando superficies y profundidad de la socavación debajo de las cimentaciones.
- Se continúa con la limpieza del área, retirando cualquier material vegetal, lodo orgánico, suelo suelto, concreto fracturado hasta encontrar material sano o encontrar el terreno natural de desplante.
- Determinación de volúmenes socavados.
- Habilitado y colocación de cimbra, fronteras entre zonas socavadas y cimentación.
- La cimbra lateral deberá colocarse de 0.1m a 1.0m fuera del paño de las zapatas.
- Suministro y colocación de concreto  $f'c=150\text{kg/cm}^2$  con agregado grueso de 1/4, revenimiento de 18cm +/- 3.5cm, CPO, aditivo estabilizador de volumen o fluidificante.
- La entrada del concreto será por el espacio comprendido entre la cimbra-frontera y la cimentación. Se colocará 20 cm por encima del nivel de desplante de la cimentación para garantizar que el concreto rellene todos los espacios vacíos.

### **3.5 Procedimiento para instalación de geomembrana en rellenos sanitarios.**

Este procedimiento tiene como objetivo implementar los criterios de control de calidad de los trabajos de instalación de geomembrana o materiales sintéticos similares en rellenos sanitarios para evitar lixiviación hacia los mantos acuíferos.

#### Procedimiento de construcción:

- Se utilizará material geomembrana de polietileno de 1mm de espesor.
- Los rollos de geomembrana pueden ser expuestos a la intemperie, por lo que nos es necesario cubrirlos con algún material adicional antes de su colocación.
- Se anotará en una bitácora la identificación de cada rollo para su control de calidad.
  - a) Número de lienzo o paño para identificar en el plano de tendido.
  - b) Número de rollo.
  - c) Fecha y hora de tendido.
- Para la maniobra de descarga en sitio de colocación se deberá utilizar equipo pesado, como grúa tipo titán de 20 toneladas de capacidad. Dos eslingas con capacidad de 2 toneladas.
- Durante el tendido de material se deberán utilizar costales rellenos de arena para evitar el desplazamiento de los lienzos por la acción del viento. (*Foto 3.6*)
- Para el tendido se utilizará una retroexcavadora a la cual se le ensambla al bote de excavación una barra mecánica con baleros que será enganchada al rollo para su posterior tendido.
- La retroexcavadora se coloca en la parte superior del talud y gracias a la barra mecánica se logra un tendido por jalón, que ejecuta una cuadrilla de trabajo hasta cubrir el desarrollo del talud.



Colocación de geomembrana dentro de celdas de un relleno sanitario.

Foto 3.6 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Relleno sanitario.

- Los lienzos de la geomembrana instalados se anclan a una zanja perimetral en la parte superior del talud formando una L, y se deberá rellenar con material de banco o producto de excavación, una vez que la geomembrana se encuentre en este punto.
- No se realizarán trabajos de soldadura durante lluvia o vientos fuertes, en presencia de excesiva humedad y polvo, tampoco se debe realizar trabajos de soldadura próximos a charcos de agua.
- No se efectuarán trabajos de soldadura en temperatura ambiente por debajo 0°C, esto porque existen restricciones en climas fríos, debido a que problemas asociados con técnicas de soldadura con aire caliente han sido erróneamente aplicadas a soldaduras de termofusión. Sin embargo la soldadura por extrusión ha sido exitosamente empleada en estos climas.
- Para los traslapes de la geomembrana se utiliza soldadura por termofusión. La longitud de traslape deberá de ser de 5 pulgadas. Esta soldadura se ejecuta con un equipo llamado wedge welder cuña caliente. La soldadura por termofusión deja un canal al centro que se utiliza para comprobar la buena calidad de la soldadura, por medio de aire que se inyecta directamente en el canal. La temperatura de funcionamiento de la máquina inicia con 215°C y posteriormente se modifica en función de la temperatura ambiente.
- Se registran las temperaturas de inicio y terminación; número de máquina, nombre del operador, número de lienzos que fueron unidos, fecha y hora.
- Los traslapes de los lienzos de la geomembrana conductiva tendidos en el área deberán respetar la pendiente que tenga el terreno, para que los lixiviados fluyan de manera natural y nunca los traslapes interfieran el paso de los mismos.



- Para el caso en el que se requiera la unión de los lienzos pero no sea factible realizar la soldadura usando la cuña caliente (wedge welder), entonces se procederá a la unión por el método de extrusión (extrusión welder), empleando para ello la extrusora portátil, este equipo requiere de un cordón de polietileno de alta densidad como soldadura de aporte. Esta soldadura se utiliza para reparar los posibles daños causados durante el proceso de instalación, fallas en la soldadura por termofusión, perforaciones causadas por objetos punzocortantes o cualquier tipo de reparación sobre la geomembrana. Antes de realizar la soldadura por extrusión se procede a crear una superficie de anclaje con una pulidora manual con un disco grado 80 ó 100, el ancho del pulido debe ser de 6cm en ambos lados del eje de la unión. Igualmente la temperatura inicial de la máquina es de 215°C y se ajustará dependiendo de las condiciones climáticas.
- El equipo de soldadura de extrusión deberá estar equipado con termómetros que proporcionen la temperatura del equipo en la boquilla y cilindro de extrusión.

#### Procedimiento de control de calidad (pruebas destructivas y no destructivas en soldaduras):

Se deberá efectuar soldaduras de prueba en piezas de fragmentos de revestimiento de la geomembrana, esto para verificar las condiciones del sellado y así poder verificar si son las más óptimas y adecuadas.

#### **Prueba de presión de aire.**

- Todas las soldaduras realizadas por termofusión se deben comprobar por medio del paso de aire a presión. El equipo a utilizar para la prueba de presión de aire consta de un tanque o compresor, manómetro y agujas especiales.
- El canal se bloquea por ambos lados y se inyecta una presión de aire a 30 PSI durante 5 minutos, si la aguja llega a ceder debajo de 2 PSI se deberá inspeccionar toda la soldadura hasta encontrar la falla. Se puede identificar escuchando salida o fuga de aire, se repara con soldadura por extrusión o bien untar una mezcla de agua y jabón a lo largo de la soldadura en tramos cortos, si existe una fuga se detectará por la formación de burbujas, se localiza y se repara con soldadura por extrusión.

#### **Prueba de caja de vacío. (Vacuum test)**

- La soldadura por extrusión se comprueba a través de una caja de vacío (vacuum box). Se humedece la soldadura, se coloca la caja de vacío sobre el área reparada y se activa el motor, generando una presión de -5 PSIG y por periodos no menores a 10 segundos revisar la soldadura.
- Observe a través de la mica si se forman burbujas, en caso de existir una fuga marcar el área en donde se detectó y reparar nuevamente por extrusión.

## Prueba de chispa. (Spark-Test)

- La prueba de chispa es un examen para identificar discontinuidades en el desarrollo de la soldadura por extrusión de geomembrana, se puede llevar a cabo durante el proceso de instalación o al final de la misma.
- El equipo de prueba deberá tener un rango de voltaje de 15,000 a 30,000 Volts, un rango más amplio es aceptable, sin embargo, el voltaje máximo es de 35,000 Volts. El ajuste de sensibilidad sólo afecta a la alarma audible y no al voltaje. Para mejores resultados se inicia con el voltaje y sensibilidad máximos, después se ajusta según sea necesario para eliminar falsas alarmas durante las pruebas.
- Este dispositivo se puede equipar con cepillos hasta de 6 pies de ancho. Es importante revisar que el cepillo esté bien fijo en el mango y que las conexiones a la fuente de energía estén en buenas condiciones.
- La pieza de prueba deberá ser de suficiente tamaño para permitir el movimiento del cepillo a una velocidad de prueba normal sobre el efecto creado sin que el cepillo haga contacto con los bordes de la pieza o cojinete de aterrizaje.
- Posteriormente se enciende el equipo de prueba, se ajusta el voltaje y sensibilidad a parámetros máximos asegurándose de mantener contacto entre el cepillo y la superficie del revestimiento, es importante desplazar el cepillo a una velocidad de prueba normal. Al activarse la alarma audible se debe inspeccionar la superficie pues es probable que exista un daño o discontinuidad.
- Se deberá marcar cualquier daño para su posterior reparación con extrusión welder.

## Prueba de tensiómetro (Peel and Shear)

Antes de realizar cualquier soldadura en la instalación de la geomembrana es necesario comprobar la buena calidad de las soldaduras por termofusión y extrusión a través de un tensiómetro.

Las pruebas por esfuerzo de corte (Shear) se aplican al esfuerzo de tensión desde el panel superior a través de la soldadura hasta el lienzo inferior. Por otro lado, las pruebas por despegado (peel) separan el lienzo superior contra el extremo soldado del lienzo inferior a fin de observar la manera en que ocurre la separación. La prueba de (peel) indica si es que los lienzos están conectados en forma continua y homogénea a través de la costura de soldadura.

- Se deben realizar ejemplos de soldadura por termofusión y extrusión de por lo menos 1.0 m x 0.3 m.
- Cortar cinco probetas (cupones) de 10 cm x 2.5 cm y someterlos a un esfuerzo de tensión con ayuda del equipo llamado tensiómetro. Pruebas de tensión de despegado y corte (Peel Y Shear) Norma ASTM D 6392. Estas pruebas están



soportadas por propiedades y valores nominales de las geomembranas de polietileno de alta densidad.

- La prueba denominada T-Peel deberá efectuarse en un tensiómetro eléctrico, a una velocidad de 2"/min. La prueba culmina cuando el cupón se rompe. La comprobación de la resistencia de 4 de las 5 muestras. (Foto 3.6)
- La comprobación de la resistencia (Shear) igualmente se realiza en el tensiómetro eléctrico a una velocidad de 2"/min. La prueba culmina cuando el cupón se alarga un 50%.

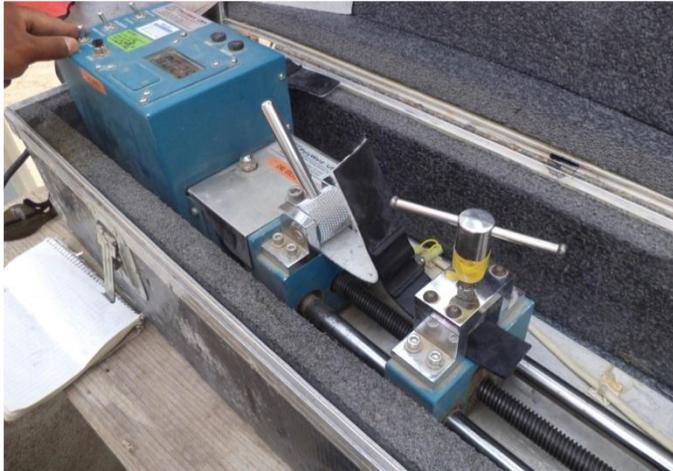


Foto 3.6 Construcción de la planta de tratamiento de agua residual. Atotonilco, Hidalgo. Relleno sanitario.

Prueba de despegado (Peel). Tensiómetro eléctrico.

### Procedimiento de reparación:

En el proceso de la instalación de geomembrana, así como en el proceso de soldadura de la misma se corre siempre el riesgo de tener fallas o accidentes mismos que pueden ocasionar perforaciones o quemaduras en la superficie del material. El método de reparación consiste en ubicar el punto de falla o perforación, marcando y reparándolo por medio de soldadura de extrusión.

- Limpiar perfectamente el área a reparar.
- Cortar un parche que cubra completamente el área dañada.
- Pre-pegar el parche que cubrirá el área por medio de aire caliente (preheat)
- Crear una superficie de anclaje con la ayuda de un esmeril con disco de lija sobre el área a reparar.
- Soldar con equipo de extrusión y cordón de polietileno como soldadura de aporte, directamente en todo el perímetro del parche.
- Comprobar esta soldadura de extrusión por medio de caja de vacío o Spark test.

### 3.6 Procedimiento para pruebas de estanquidad en tanques de concreto.

Este procedimiento tiene como objetivo establecer los lineamientos para realizar y controlar las actividades de pruebas de estanquidad en los elementos estructurales sujetos a flujos de agua, los cuales pueden ser tanques de concreto armado ya sea con muros rectos o circulares.

Para dar inicio con las pruebas de estanquidad, se debe cumplir con los siguientes trabajos preliminares:

- Verificar que los elementos estructurales sujetos a las pruebas de estanquidad, hayan cumplido las resistencias a compresión y saliendo debidamente satisfactorias.
- Se deberá tener concluidos los trabajos de sellado de huecos producto de la existencia de pasamuros o los huecos dejados debido a los trabajos de cimbra.
- Revisar el tanque por el interior y realizar cualquier reparación que exista en cuanto a fisuras y oquedades en el concreto.
- Colocar por el exterior de los pasamuros tapas que pudieran ser del tipo bridadas o soldadas o cualquier otro, de tal forma que no permitan la salida del líquido a utilizarse en las pruebas, donde aplique.
- Se deberán hacer los preparativos en cuanto a la colocación de bombas, mangueras para el llenado y accesos para los camiones transportadores de agua (pipas).
- Limpiar el interior, retirando el escombros, basura y material sedimentado.
- Verificar las dimensiones, formas, niveles, elementos de sello y acabado de los elementos estructurales de acuerdo con lo fijado en el proyecto.
- El agua a utilizarse será limpia, la cual será transportada en camiones pipas y/o equipo de bombeo con mangueras para el llenado de los tanques.

#### Desarrollo de la prueba de estanquidad:

- De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-007-CNA-1997 Requisitos para la construcción y operación de tanques de agua. El tanque deberá ser llenado en 3 fases:
  - a) 33 % de su capacidad
  - b) 66 % de su capacidad
  - c) 100 % de su capacidad (Nivel de operación de la estructura)



- El llenado de los tanques, se contempla realizarse en forma gradual y en tres etapas, siendo la primera a una tercera parte de su capacidad, la segunda a dos terceras partes y la tercera a la capacidad del tanque hasta la altura de nivel de operación máxima de la estructura. Este llenado se realizara mediante la utilización de equipos de bombeo con mangueras flexibles, también podrán ser utilizados tramos de tubería metálica, así como la utilización de camiones pipa para acarreos en caso necesario.
- Para verificar la estanquidad y seguridad estructural conforme a lo indicado en la norma Oficial (una vez iniciado el llenado) será monitoreada la estructura mediante una inspección visual durante el primer llenado del tanque y/o canal sujeto a prueba, de tal forma que en cuanto se vaya avanzando y si aparecieran fugas o filtraciones de agua, estas podrán ser reparadas inmediatamente, utilizando productos especiales para este tipo de reparación, como puede ser el sellado con Sikaflex Pro WF.
- El tanque se mantendrá lleno por un periodo mínimo de 72 horas posteriores al llenado a los niveles de operación. El descenso en el nivel del líquido se medirá durante los siguientes 3 días para determinar la filtración diaria promedio tomando en cuenta el nivel del espejo de agua, esto a fin de observar que el tanque se encuentre en su totalidad libre de filtraciones. Dichas mediciones se harán cada 24 horas para un monitoreo adecuado.

## **Conclusiones.**

Estas recomendaciones tienen como objetivo simplificar y sistematizar los procedimientos de control de calidad y hacer cumplir los controles establecidos durante todo el proceso de la obra civil.

El contenido de este manual se convierte en especificación al incluirse expresamente en un proyecto ejecutivo. Y será necesaria su consulta una vez que existan ambigüedades en la integración del sistema de gestión de calidad del proyecto. Sin embargo su utilidad no se limita a lo anterior, pues la presente tesis aspira a servir como guía para aquel estudiante o profesionista de la ingeniería civil pueda tener en ella un apoyo y orientación.

Poseer este documento ayudara a resolver los tópicos sobre aseguramiento de calidad en obras civiles, es decir que se contara con un prontuario para el constructor, permitiéndole que el proceso de su trabajo se le facilite.

Es importante aclarar que la calidad de las obras es una responsabilidad compartida entre el constructor y el supervisor, pues al fin y al cabo, ambos son protagonistas.

Sin lugar a dudas la gran mayoría de especificaciones y recomendaciones están basadas en las normas mexicanas e internacionales de instituciones como el ACI y el ASTM. Sin embargo algunas de las recomendaciones dentro de los procesos constructivos que describo son consecuencia del conocimiento adquirido de la práctica profesional, tanto en construcción pesada y en edificación.

Con este trabajo, estoy seguro en contribuir con un grano de arena a acrecentar la capacidad de la Ingeniería Civil Mexicana, que requerimos para crear la infraestructura, que de soporte al desarrollo económico y social de nuestro país. Y que sin duda mejorará notablemente la calidad de nuestras obras y por tanto nuestro servicio a la sociedad.

Finalmente propongo que este trabajo puede y debe ser ampliado por colegas y expertos en cada una de las áreas de la Ingeniería Civil para enriquecer la literatura técnica y robustecer el conocimiento de nuestro gremio.



## Definiciones.

**Apuntalamiento.** Elemento de madera o metal de la cimbra, utilizado para soportar el empuje hidrostático del concreto fresco.

**ACI.** American Concrete Institute.

**ASTM.** American Society for Testing Materials

**Bote de excavación.** Accesorio de excavación de una retroexcavadora.

**Cabeceo.** Preparación de las caras de las probetas de concreto que serán la superficie de contacto con la aplicación del esfuerzo. Esto para garantizar un plano horizontal y por lo tanto una adecuada distribución del esfuerzo aplicado.

**Cemento Portland.** Aglutinante hidráulico producido de la pulverización del Clinker obtenido por fusión incipiente de materiales arcillosos y calizos, que contengan óxidos de calcio, silicio, aluminio y fierro en cantidades convenientemente dosificadas y sin más adición posterior que yeso sin calcinar, así como otros materiales que no excedan el 1% del peso total y que no sean nocivos para el comportamiento posterior del cemento, como pudiera ser el álcali.

**Chucks.** Cuñas de acero que evitan que regrese el cable al aplicarle esfuerzos de tensión.

**Cimbra.** Elemento de madera o metal utilizado como molde en el proceso de fabricación de un elemento estructural determinado. Las cimbras forman una estructura temporal empleada para soportar el concreto fresco durante el tiempo que este tarda en alcanzar una resistencia determinada.

**Concreto.** Elemento compuesto por una mezcla de cemento Portland, grava, arena y aire. Con una resistencia específica.

**Concreto lanzado.** Es una mezcla de cemento-agua-grava-arena y en algunos casos fibras metálicas o sintéticas, que mediante la fuerza controlada de aire a presión es transportada a través de una manguera y proyectada a gran velocidad sobre una superficie, adhiriéndose a ella con una excelente compactación, obteniendo así un recubrimiento homogéneo y resistente. El concreto es estructural clase 1, con un tamaño máximo de agregado de  $\frac{1}{2}$  “.

**Contenido de agua óptimo.** Es aquella cantidad de agua que propicie una acción lubricante en el material para obtener el mínimo de vacíos entre sus partículas sólidas al aplicar mecánicamente una energía específica.



**Curado.** Es el proceso mediante el cual, en un ambiente específico de humedad y temperatura, se favorece la hidratación del cemento hidráulico y en su caso, de los materiales cementantes en la mezcla.

**Desmoldante.** Aditivo líquido que se aplica a la cimbra para facilitar su desmolde.

**Dolly.** Dispositivo mecánico móvil compuesto por un motor eléctrico y varios rodamientos de acero, para izar y deslizar las trabes de extremo a extremo de la Lanzadora de Trabes.

**Dren.** Dispositivo para desalojar agua y para romper la presión de poro dentro de un terraplén y para así aumentar la resistencia al corte; consiste en tubo de PVC de 50 mm (2") de diámetro, ranurado en forma perpendicular recubierto con malla de material geotextil que servirá como filtro (tamaño aparente de abertura de 0.21 mm y una resistencia a la tensión de 6.5 kN/m<sup>2</sup>)

**Ensaye.** Ejecución de las pruebas para la determinación de alguna característica de la muestra o probeta.

**Eslinga.** Es una herramienta de elevación. Es el elemento intermedio que permite enganchar una carga a un gancho de izado o de tracción. Consiste en una cinta con un ancho o largo específico (varían según su resistencia, los modelos y los fabricantes).

**Estanquidad.** Característica de un tanque que no permite el paso de agua a través del cuerpo mismo.

**Estrobo.** Mecanismo metálico que consta de un cabo unido por sus extremos por cable o cadenas de acero que se utiliza para suspender objetos pesados.

**Excavación.** Extracción de material de un terreno natural o terraplén, mediante la utilización de una herramienta manual o equipo mecánico, que en base a ciertas dimensiones deja un espacio libre.

**Extrusión.** Proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija.

**Fisura.** En general, fractura que aparece en algunos materiales como el concreto hidráulico como consecuencia de la existencia de esfuerzos de tensión, superiores a la capacidad resistente de los mismos. Se manifiesta en forma de hendidura o grieta longitudinal poco profunda y abertura menor de 1 mm.

**Fraguado.** La condición alcanzada por la pasta de agua-cemento, mortero o concreto cuando pierde plasticidad.



**Junta fría.** Es una junta o discontinuidad resultante de la demora en la colocación del concreto por un tiempo suficiente para impedir la unión de dos capas o secciones sucesivas de concreto.

**Maestras de concreto.** Elemento de concreto de pequeñas dimensiones que tiene un nivel de terminado. Que sirve como referencia intermedia entre claros.

**Materiales para terraplén.** Son suelos y fragmentos de roca de los cortes o de la extracción en bancos que se utilizan para formar caminos a base de capas, de un cuerpo llamado terraplén.

**Masa volumétrica seca máxima.** Es la mayor relación de masa entre volumen que puede obtenerse en un material al reducir al mínimo los vacíos entre sus partículas sólidas al aplicar mecánicamente una energía específica.

**Muestra.** Es una porción de material arcilloso con la que se pretenda construir una estructura terrea o bien del material que ya forma parte de la misma, se obtiene una muestra reducida de aproximadamente 3 kg a 6 kg dependiendo de la prueba que se pretenda realizar preparándola según parámetros de las normas aplicables de tal manera que las características de esta porción obtenida deben ser representativas del conjunto.

**Neopreno.** Goma sintética. Su inercia química le hace útil en aplicaciones como sellos (o juntas) y mangueras, así como en recubrimientos resistentes a la corrosión. Su elasticidad hace que sea muy difícil plegarlo.

**NOM.** Norma oficial mexicana.

**ONNCCE.** Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.

**Oquedad.** Discontinuidad en una pieza de concreto estructural ocasionada por un mal vibrado o mala colocación de concreto.

**Paño.** Termino coloquial que se refiere a una línea imaginaria horizontal útil para la alineación topográfica.

**Plantilla.** Es una capa de concreto pobre la cual se coloca debajo de las estructuras de cimentación con el objetivo de dividir el acero de refuerzo del suelo y así protegerlo de cualquier intemperización, evitar que se contamine el concreto de la cimentación al momento del vaciado; además sirve para nivelar el terreno natural. La plantilla generalmente deberá tener un espesor de 5 cm a 10 cm según sea el tipo de cimentación.



**Resina Epoxi.** Material polimérico termoestable que se endurece al mezclarlo con un agente catalizador o endurecedor. Las resinas Epoxi presentan excelentes propiedades mecánicas y de gran resistencia a la corrosión. Por lo general están constituidas por dos componentes que se mezclan previamente para su uso; al mezclarse las resinas con el agente catalizador reaccionan causando solidificación de la resina; su curado se realiza a temperatura ambiente, durante su fraguado se forman enlaces cruzados lo que hace que su peso molecular sea elevado.

**Resistencia nominal.** Es la resistencia especificada a la compresión simple ( $f'c$ ).

**Revenimiento.** Es una medida de la consistencia o trabajabilidad del concreto.

**S.C.T.** Secretaria de comunicaciones y transportes.

**Socavación.** Volumen que queda vacío por la acción erosiva de agua o viento.

**Tanque.** Estructura cerrada o abierta, que se utiliza en los diferentes procesos de los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, destinada a contener agua a la presión atmosférica.

**Tensado.** Acción mediante la cual se le aplica tensión por medios mecánicos a los torones del cable.

**Tensiómetro.** Dispositivo que utiliza la fuerza mecánica para ejercer esfuerzos de tensión sobre un objeto determinado. Este dispositivo cuenta con celdas de carga que envían señales eléctricas y un software de adquisición de datos que convierte estas señales en valores numéricos, los cuales se podrán leer comúnmente en unidades de fuerza tales como Newton (Nw) o Libras (Lb).

**Termofusión.** Proceso de soldadura con aplicación de calor en materiales sintéticos. Uniendo los dos extremos de los materiales por medio de una fusión molecular.

**Terracería.** Conjunto de terraplenes utilizados para la formación de un camino o plataforma.

**Torón.** Cable de acero de preesfuerzo, compuesto de seis alambres dispuestos en forma helicoidal sobre uno central, con un paso uniforme no menor de doce ni mayor de dieciséis veces el diámetro nominal del torón.



## Bibliografía

1. Norma SCT. Drenes de penetración transversal. N-CTR-CAR-1-03-012/00
2. Norma SCT Terraplenes. N-CTR-CAR-1-01-009/00
3. Norma Instituto Mexicano de Transporte. Criterios estadísticos de muestreo. M-CAL-1-02/01
4. Norma SCT. Materiales para terraplén. N-CMT-1-01/02.
5. Norma SCT. Acero de refuerzo para concreto hidráulico (resistencia a la tensión de varillas de acero). N-CMT-2-03-001/04
6. Reglamento para las construcciones de concreto estructural. ACI 318-02
7. Norma Mexicana. Industria para la construcción - determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto – método de prueba. NMX-C-083-ONNCCE-2002.
8. Norma Mexicana. Industria de la construcción – concreto – cabeceo de especímenes cilíndricos. NMX-C-109-ONNCCE-2010.
9. Norma Mexicana. Industria para la construcción – concreto - concreto hidráulico industrializado - especificaciones. NMX-C-155-ONNCCE-2014.
10. Norma Mexicana. Industria de la construcción - concreto hidráulico - determinación de la masa unitaria, cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico. NMXC-162-ONNCCE-2000.
11. Especificación estándar. Sistemas de unión a base de Epoxi-Resina con concreto. ASTM-C-881.
12. Especificación estándar. Barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto. ASTM-A-615.
13. Norma Mexicana. Industria para la construcción - varilla corrugada de acero proveniente de lingote y palanquilla para refuerzo de concreto - especificaciones y métodos de prueba. NMX-C-407-ONNCCE-2001.
14. Especificación estándar de ensayo de obtención y ensayo de núcleos perforados y vigas aserradas de concreto. ASTM C42/C42M – 13.
15. Especificaciones para concreto estructural. ACI 301S-10.
16. Guía de reparación de concreto. ACI 546R-96.
17. Norma Mexicana. Sistemas de gestión de calidad. Requisitos. NMX CC 9001 IMNC 2008.
18. Prueba estándar. Métodos para cuidar la integridad de la geomembrana no reforzada. Utilizando métodos de termofusión. ASTM-D-6392.
19. Norma oficial mexicana. Requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques para agua. NOM-007-CNA-1997.
20. Especificaciones para las pruebas de estanquidad en estructuras de concreto para aplicaciones ambientales. ACI 305-01.