



## IV. PROCESO CONSTRUCTIVO.

El proceso constructivo es la acción de integrar los componentes de cualquier cosa, como casas, rascacielos, puentes, presas, caminos, plataformas petroleras, barcos, etcétera. La construcción es una de las principales industrias, tanto por su peso económico como por su impacto en el medio ambiente. En México, la industria de la construcción representa entre el 5% y el 6.5% del Producto Interno Bruto (PIB), y genera el 10% del empleo total.

En el ámbito de la Ingeniería Civil el término construcción se refiere a la técnica de fabricar edificios e infraestructuras. En un sentido más amplio, se denomina construcción a todo aquello que exige, antes de hacerse, disponer de un proyecto o plan predeterminado y especificaciones. Cuando se habla de construcción, se refiere a diversas formas y combinaciones de cómo hacer o crear varios tipos de estructura.

Para la ejecución de la obra civil del edificio para Taller de Proceso TPR 1, fue necesaria la contratación de obreros que se hicieron cargo de la preparación del sitio y construcción. El personal que trabajó para la realización de la obra fue personal técnico especializado en construcción, ingenieros y arquitectos para la supervisión, operadores de maquinaria, oficiales albañiles, ayudantes generales y personal de apoyo.

Se utilizaron equipos de construcción tales como perforadoras para pilas de cimentación, grúas, retroexcavadoras, motoconformadoras, rodillos vibro-compactadores, camiones con revolvedora y bombas para concreto hidráulico, camiones de volteo, pavimentadoras, petrolizadoras, así también, equipo menor, herramientas manuales y equipo de protección personal (EPP).

La industria de la construcción es uno de los sectores de mayor siniestralidad laboral, por lo que en este capítulo se señalan algunas recomendaciones para reducir los riesgos a la integridad física del personal de obra, se menciona información básica del tema esperando con esto promover la cultura de la seguridad dentro de la construcción.

### IV.1. Trabajos preliminares.

Son los trabajos y obras que se necesitan ejecutar antes del desplante de una estructura para facilitar su iniciación, los trabajos referidos son, entrega del terreno, referencias y bancos de nivel, desmantelamientos, demoliciones, excavaciones, rellenos, cercas para delimitación de áreas, letrinas, instalaciones eléctricas provisionales, señalamientos y dispositivos de seguridad e implantación de la caseta de la residencia de obra, por mencionar algunos. Cumplidas las condiciones se da inicio a los trabajos de construcción.

#### IV.1.1. Demoliciones.

La demolición es la acción de derruir una estructura o parte de ella, seccionando y retirando del interior de la obra los escombros producto de la remoción. El desmantelamiento es la acción de desintegrar una estructura o parte de ella, estibando y almacenando los materiales aprovechables.

Para la construcción de los nuevos edificios se procedió a la preparación del sitio, se dismantelaron y demolieron las instalaciones obsoletas. Hubo que remover calderas, chimeneas, bombas, cobertizos y tanques, del mismo modo, se extrajeron los elementos que conformaban sus cimentaciones. Todos los escombros resultantes fueron retirados de la obra y depositados en un banco de tiro autorizado.

#### IV.1.2. Excavaciones.

Una vez extraídos los elementos de cimentación del subsuelo se procedió a la excavación para recibir la nueva terracería. El procedimiento consistió en “abrir caja” por medios mecánicos, es decir, se realizó el corte del terreno natural en toda la superficie hasta una profundidad de 1.20 m, respetando siempre los niveles de proyecto, el material producto de la excavación fue retirado en su totalidad del predio al banco de tiro autorizado. En las figuras 4.1 a 4.6 se muestra el proceso de excavación y remoción de las cimentaciones existentes.



Figura 4.1. Instalaciones por dismantelar.



Figura 4.2. Demolición y excavación.



Figura 4.3. Limpieza del terreno.



Figura 4.4. Extracción de cimentaciones.

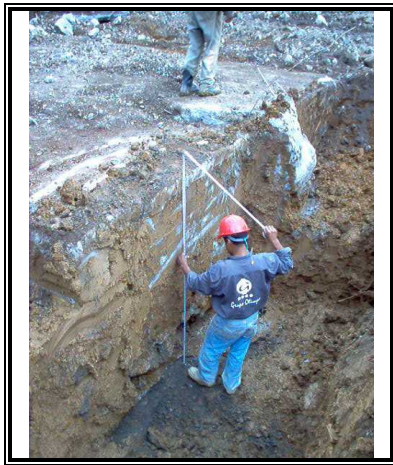


Figura 4.5. Extracción de cimentaciones.



Figura 4.6. Excavaciones.

#### IV.1.3. Rellenos.

El relleno es la operación necesaria para la colocación de materiales, producto de las excavaciones o bancos de préstamo, dentro de en excavación previa.

La conformación de la nueva terracería se llevó a cabo haciendo rellenos compactados con equipo pesado, utilizando tres diferentes tipos de materiales. En las oquedades producto de la extracción de elementos de cimentaciones existentes y en una primera capa uniforme de 30 cm de espesor, se utilizó piedra con tamaño máximo de 10 cm, que fue incrustada al estrato arcilloso por medio de compactación mecánica mediante rodillo vibratorio, esta capa hace la función de relleno estabilizador entre el cuerpo del terraplén y el terreno natural.

Enseguida se tendieron dos capas de 25 cm de espesor con material calcáreo, capa sub-base, de nula plasticidad, compactado de la misma forma descrita anteriormente, alcanzando el 95% de su peso volumétrico seco máximo (PVSM). La capa final, base, es de 20 cm y se llevó a cabo con material granular a base de arena, grava y material fino cohesivo, también compactado por medios mecánicos. Todos los materiales fueron obtenidos de bancos de préstamo autorizados y cercanos a la obra.

**Se entiende por compactación** a la aplicación mecánica de cierta energía o cantidad de trabajo por unidad de volumen, para lograr una reducción de los espacios entre las partículas sólidas de un suelo, con el objeto de mejorar sus características mecánicas y disminuir la compresibilidad, la permeabilidad y la erosionalidad al agua del mismo. Al obtenerse un mejor acomodo de las partículas sólidas y la expulsión de aire que contiene el suelo, se produce un aumento de su peso volumétrico o específico.

Si a un suelo cuya humedad es baja se le van dando ciertos incrementos a su contenido de agua y se le aplica cada vez la misma energía de compactación, su peso volumétrico va aumentando propiciado por la

acción lubricante del agua, hasta que llega un momento en el que el peso volumétrico del material seco, calculado a partir del peso volumétrico del material húmedo y de la humedad, alcanza un valor máximo. Al contenido de agua con el que se obtiene el mejor acomodo de partículas y el mayor peso volumétrico o específico del material seco, para una determinada energía de compactación, se le denomina **humedad óptima** y al peso volumétrico correspondiente se le designa como peso específico o **peso volumétrico seco máximo**.

Cuando a partir de esta condición de humedad óptima y peso volumétrico seco máximo, se incrementa el agua para un mismo volumen, el agua con el aire remanente ocuparían el lugar de algunas partículas de suelo, obteniéndose en consecuencia pesos volumétricos que van siendo menores a medida que el agua aumenta.

Si en un sistema de ejes coordenados se sitúan los puntos correspondientes a cada peso volumétrico seco con su respectiva humedad y se unen con una curva, quedará representada la variación del peso volumétrico de un material para diferentes contenidos de agua y una misma energía de compactación; esta curva adopta aproximadamente la forma de una parábola, siendo mas pronunciada su curvatura en el caso de suelos arenosos que en los suelos arcillosos. En la figura 4.7 se ilustra la gráfica clásica de una prueba de compactación Proctor Estándar.

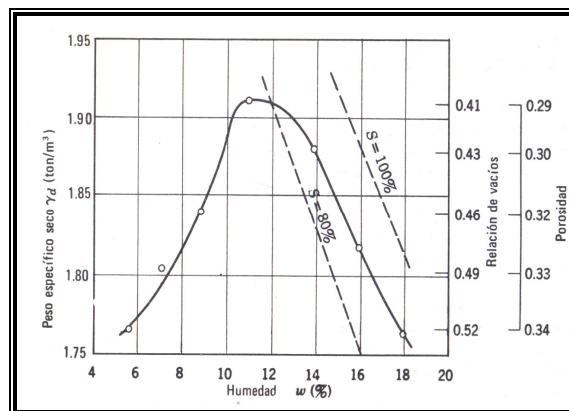


Figura 4.7. Gráfica de compactación Proctor Estándar.

El contenido de agua óptimo y el peso volumétrico seco máximo de un suelo, también varían con la energía de compactación; cuando ésta se aumenta, se obtienen mayores pesos volumétricos secos máximos con humedades óptimas menores. A su vez, la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo son función del tipo de suelo; los suelos gruesos, para una misma energía de compactación, tienen en general mayores pesos volumétricos y menores contenidos de agua que los suelos finos.

En las figuras 4.8 a 4.11 se muestra el proceso de relleno y compactación en sitio y en la figura B.5 del anexo B, se presenta la ficha técnica del relleno utilizado como capa base y sub-base.





Figura 4.8. Tendido de pedraplén.



Figura 4.9. Tendido de capa sub – base.



Figura 4.10. Nivelación de capa base.



Figura 4.11. Afine de capa base.

#### IV.1.4. Trazos y nivelación.

Los trazos para la localización general, alineamientos y niveles de trabajo para el desplante del edificio se ejecutaron con teodolito cuya aproximación angular es de 20 segundos, con cinta metálica y plomada. La nivelación se realizó con nivel óptico montado sobre trípode y se estableció el banco de nivel con una elevación arbitraria, el valor se fijó en la cota +100.00 m.

En lo que se refiere a la ubicación en planta del edificio para Taller de Proceso TPR 1, se dieron las referencias para los trazos de ejes constructivos con respecto a las edificaciones vecinas, considerando que muchas de ellas quedarían integradas entre sí al nuevo proyecto. Las referencias, bancos de nivel y mojoneras se mantuvieron permanentemente protegidos, libres de productos de excavación o materiales de construcción hasta la recepción de la obra.

En la figura 4.12 se observan los trabajos de trazos para la ubicación y desplante del edificio TPR 1.



Figura 4.12. Trazos para ubicación de pilas.

#### IV.1.5. Caminos de acceso.

Para la construcción de las edificaciones de la nueva planta no hubo necesidad de construir caminos de acceso, la obra estaba perfectamente comunicada en su interior, por lo que se aprovechó la misma infraestructura. Al finalizarse la obra los caminos quedaron muy deteriorados, lo que originó el mantenimiento correctivo de éstos, recompactando la capa superior del terraplén y el reemplazo total de la carpeta asfáltica.

### IV.2. Construcción.

#### IV.2.1. Subestructura - cimentación.

La subestructura es el conjunto de elementos resistentes ligados entre si que conforman el sistema estructural por debajo del nivel de terreno. La cimentación se compone de pilas y trabes de liga unidas por dados de concreto reforzado.

Como ya se mencionó en los capítulos II y III, la cimentación del edificio TPR 1 está apoyada sobre pilas de concreto reforzado coladas en sitio con perforaciones previas, desplantadas a 11.00 m de profundidad.

Una vez trazados los ejes constructivos se procede a la perforación para el colado de los elementos, las perforaciones se hacen uniformes en toda su longitud, para garantizar el adecuado apoyo de las pilas se evita dejar material suelto en el fondo. Para impedir los derrumbes y estabilizar las paredes de las perforaciones se aplicó una solución de lodo bentonítico en el interior de las cavidades.

Posteriormente se continúa con la instalación del refuerzo e inmediatamente después la colocación del concreto, con el fin de evitar la segregación, esta operación se realiza usando un dispositivo de tubo tipo



“tremie”, manteniendo el extremo inferior del tubo embebido en el concreto fresco un mínimo de 1.50 m, mientras se va desplazando hacia la superficie.

El nivel de concreto se lleva por encima de 90 cm con respecto al nivel de desplante de los dados de cimentación, esto es para garantizar la expulsión del concreto contaminado que viene desplazando los lodos desde el fondo de la excavación.

Los lodos extraídos de las perforaciones durante el colado, son recuperados en una fosa para su reutilización en las perforaciones siguientes, se decantan y se separan los sedimentos arcillo-arenosos arrastrados durante el proceso de colado.

El excedente de concreto se remueve dos días después mediante demolición mecánica, los últimos 40 cm se demuelen con herramienta de bajo impacto para evitar fisuras en la cabeza de la pila, la superficie debe quedar horizontal, limpia y libre de material suelto para asegurar una superficie sólida en el desplante. Se continúa con el refuerzo de los dados los cuales integraran el conjunto pilas, trabes de cimentación y columnas.

Para cada pila se llevó un registro con la fecha de fabricación, respetando las tolerancias, para verticalidad 1% con respecto a la profundidad total de las pilas y de 10% con respecto a las dimensiones de la sección transversal del acero de refuerzo. Se llevó un control con equipo topográfico para referenciar los ejes y niveles finales de las pilas antes y después del colado, es decir, los de proyecto y los reales.

En la periferia de la cabeza de la pila se excava el área de cimentación hasta la profundidad de desplante de los dados; se coloca una plantilla de concreto pobre,  $f'c = 100 \text{ kgf/cm}^2$ , de 5 cm de espesor, que garantiza una superficie sana y limpia antes de colocar el acero de refuerzo de dados, trabes de liga y columnas. En las figuras 4.13 a 4.18 se muestra el proceso constructivo descrito de la cimentación.



Figura 4.13. Perforación de pilas.



Figura 4.14. Perforación y colado de pilas.





Figura 4.15. Colado de pilas.



Figura 4.16. Preparación para desplante de dados.

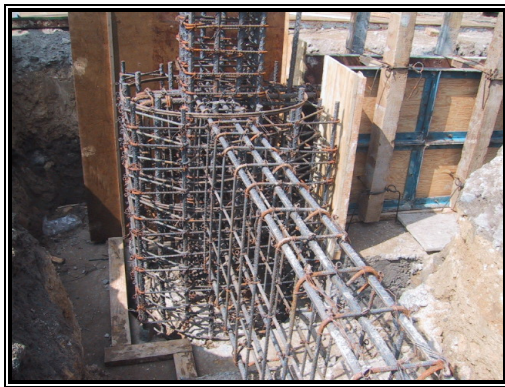


Figura 4.17. Refuerzo de trabes de liga-pila-columna.



Figura 4.18. Refuerzo de dados-columnas.

Concluidos los refuerzos, se cimbran los dados y trabes de liga, se realiza limpieza con proyecciones de agua a presión evitando encharcamientos y se vierte la mezcla de concreto mediante bombeo, colocándola por capas horizontales continuas de veinticinco a treinta centímetros de espesor. Cada capa se acomoda y se compacta en toda su profundidad con equipo de vibración por inmersión, para obtener un concreto que llene completamente los moldes y cubra en forma efectiva el acero de refuerzo.

Al día siguiente del colado, se procede al retiro de la cimbra de las trabes de cimentación y se realiza limpieza profunda de la “junta fría”. El tratamiento de la junta consiste en la limpieza de lechada adherida al acero de refuerzo y el retiro de la capa superficial de concreto, de entre 3 mm y 5 mm, para dejar la superficie sana, libre de material suelto y que asegure una superficie sólida para el desplante de las columnas, como se muestra la figura 4.19.





Figura 4.19. Distribución de refuerzo en columnas.

#### IV.2.2. Superestructura - columnas y trabes.

La superestructura es el conjunto de elementos resistentes, ligados entre si, que conforman el sistema estructural de la edificación sobre el nivel de terreno. Se compone de columnas y trabes, además, en esta categoría se incluyen los muros y las losas de piso que se describen en IV.2.3 y IV.2.4 respectivamente.

##### A. Columnas.

Las columnas son los elementos estructurales resistentes, generalmente verticales, contruidos a base de concreto hidráulico y acero de refuerzo, que trabajan mancomunadamente con el sistema estructural.

Conforme se van concluyendo zonas de cimentación, se da inicio a la construcción de la superestructura mediante el desplante de las columnas, embebiendo el acero de refuerzo directamente sobre los dados de cimentación y extendiéndolo hasta el entrepiso inmediato superior, se hacen coincidir los ejes axiales de las pilas con los de las columnas. Se continúa con el cimbrado, revisando la verticalidad de la cimbra en dos direcciones ortogonales con plomada y teodolito, verificando que las tolerancias especificadas se cumplan antes de proceder con la colocación del concreto.

Se realiza la limpieza al interior de la cimbra con agua en abundancia, evitando que se estanque, se vierte la mezcla de concreto colocándola por capas continuas, en espesores no mayores de treinta centímetros, cada capa se acomoda y compacta en toda su profundidad con equipo de vibración por inmersión, el concreto debe llenar completamente los moldes y cubrir en forma efectiva el acero de refuerzo. Generalmente en las columnas el concreto se tuvo que vaciar desde alturas mayores de tres metros, para ello se implemento un dispositivo tipo “trompa de elefante”, con éste se evitó el problema por segregación.

El colado de las capas se efectúa en forma continua y de manera que las capas subsecuentes se vayan colando una vez que la precedente haya sido acomodada y compactada convenientemente antes de iniciarse su fraguado. Para evitar discontinuidad o que se marquen juntas, el tiempo transcurrido entre el colado de una capa y la siguiente no debe ser mayor de treinta minutos. Inmediatamente terminado el

colado, se vuelve a revisar la verticalidad del elemento en dos direcciones ortogonales con plomada y teodolito. El descimbrado se efectúa 48 horas después del proceso.

Se debe evitar interrumpir la continuidad de una de las capas de colado o el proceso total de una columna antes del nivel de proyecto, sin embargo, la tolerancia antes del enrase para finalizar la etapa de colado en columnas se fijó en  $\pm 25$  mm.

## B. Trabes.

Las trabes son los elementos estructurales resistentes, generalmente horizontales, contruidos a base de concreto hidráulico y acero de refuerzo, que trabajan mancomunadamente con el sistema estructural.

Una vez que se concluye el enrase de columnas al nivel de proyecto, se procede a cimbrar el fondo de las trabes respetando las tolerancias especificadas, se retira la lechada adherida en el acero de refuerzo y las coronas de las columnas se someten a limpieza profunda retirando una capa superficial de concreto de entre 3 mm y 5 mm, para dejar la superficie sana, libre de material suelto, se coloca el acero de refuerzo y se concluye la cimbra en los costados.

Terminada la cimbra y antes de colar, se realiza la limpieza al interior con proyecciones de agua a presión evitando que se estanque, se vierte la mezcla de concreto mediante bombeo, se coloca por capas horizontales continuas de veinticinco a treinta centímetros de espesor, cada capa se acomoda y compacta en toda su profundidad con equipo de vibración por inmersión, el concreto debe llenar completamente los moldes y cubrir en forma efectiva el acero de refuerzo.

Al día siguiente se retira la cimbra de los costados e inmediatamente se inicia el proceso de curado, la del fondo se retira una vez que el concreto alcanza el 80% de su resistencia nominal, verificada mediante la prueba de resistencia a compresión simple.

En las figuras 4.20 y 4.21 se ilustran las etapas de construcción de columnas y trabes.

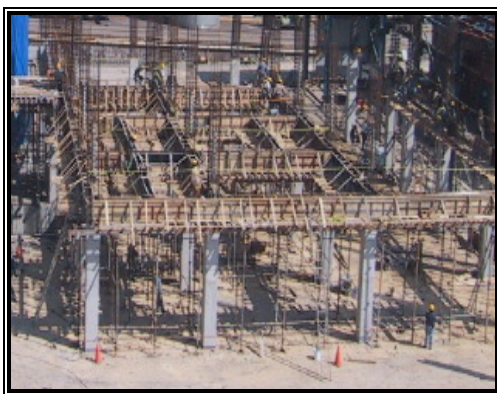


Figura 4.20. Cimbrado de trabes.



Figura 4.21. Columnas y trabes terminadas.



#### IV.2.3. Muros, dalas y castillos.

##### A. Muros.

Los muros son los elementos formados por un conjunto de piezas prismáticas, prefabricadas o naturales, unidas entre si mediante un mortero aglutinante. Para la construcción de muros del edificio TPR 1 se usaron piezas de cerámica con huecos verticales. Se revisó que las piezas fueran del tipo y procedencia especificados en los planos de construcción. La inspección de piezas se realizó tomando tres muestras que se ensayaron en pilas a compresión simple.

Durante el proceso de construcción de la cimentación, trabes y losas de entrepiso, se tomó en consideración la posición de los muros y sus respectivos refuerzos verticales, de tal manera que dichos refuerzos quedaron embebidos durante los procesos de colado sobre sus correspondientes elementos estructurales portantes.

La supervisión del proceso de construcción de muros de mampostería de piezas huecas con refuerzo interior es una labor de actividad constante; a continuación se señalan algunos criterios de lo más relevante por revisar durante su construcción:

1. Las piezas serán sanas (sin fracturas), en caso contrario, las piezas dañadas se separan y se retiran de la obra.
2. Las piezas de cerámica se sumerjan en agua al menos 2 horas antes de su colocación.
3. El aparejo debe ser cuatrapeado.
4. El mortero no se debe fabricar en contacto con el suelo y sin control de la dosificación, el proporcionamiento se da en volumen de acuerdo a lo indicado en los planos.
5. Las juntas verticales y horizontales se rellenarán totalmente de mortero y su espesor no excederá el valor indicado en el proyecto, como máximo se acepta 12 mm.
6. El desplomo del muro no excederá  $0.004H$  ni 15 mm.
7. El refuerzo longitudinal de castillos o el interior del muro estará libre de polvo, grasa o cualquier otra sustancia que afecte la adherencia.
8. No se traslapará más del 50 por ciento del acero longitudinal de castillos, dalas o refuerzo vertical en una misma sección.
9. El relleno de los huecos verticales se realizará a la altura especificada en el proyecto, sin exceder de 400 mm.
10. El refuerzo horizontal será continuo en el muro, sin traslapes y anclado en los extremos con ganchos a 90 grados colocados en el plano del muro.
11. Durante la construcción se tomarán las precauciones necesarias para garantizar la estabilidad ante posibles empujes horizontales, incluyendo viento y sismo.

##### B. Dalas y castillos.

Las dalas y castillos son los elementos resistentes, contruidos a base de concreto hidráulico y acero de refuerzo, que trabajan integralmente con los muros de mampostería.

Los castillos o porciones de ellos, se cuelan una vez erigido el muro, sin exceder alturas de colado de 2.5 m, para elementos con mayor altura el colado se hace en dos etapas. Las dalas se cuelan para enrasar al muro una vez que los castillos quedaron integrados a éste y así queda concluido el confinamiento. Durante la construcción de estos elementos se debe revisar que:

1. El refuerzo longitudinal de castillos y dalas, y los refuerzos interiores de los muros, estén anclados y en la posición señalada en el proyecto.
2. El desplomo del castillo no exceda el desplomo del muro.
3. El refuerzo longitudinal de castillos y dalas se coloque de manera que se asegure que se mantenga fijo durante el colado y que esté libre de lechada, grasa o cualquier otra sustancia que afecte la adherencia del concreto.
4. El concreto no se fabrique en contacto con el suelo y sin control de la dosificación, la mezcla debe ser fluida para su fácil acomodo, tendrá la cantidad de agua que asegure una consistencia líquida sin segregación de los materiales constituyentes y sin exceder la relación agua cemento que pueda afectar la resistencia de proyecto.
5. Se debe compactar el concreto mediante con algún método de vibrado que asegure que no queden oquedades.
6. La cimbra debe ser resistente, estanca y limpia; previo al colado se hace limpieza al interior con chorro de agua a presión.

En las figuras 4.22 y 4.23 se observa el proceso constructivo de muros diafragma.



Figura 4.22. Proceso constructivo de muros.



Figura 4.23. Muros diafragma.

#### IV.2.4. Losas de entrepiso.

Las losas de entrepiso son elementos estructurales portantes, construidas a base de concreto reforzado, generalmente en posición horizontal y ocasionalmente inclinadas para cubiertas de azotea. Las losas utilizadas fueron de dos tipos; losas coladas in situ reforzadas con acero para concreto y losas prefabricadas pretensadas con acero de presfuerzo.



### A. Losas prefabricadas.

El sistema con losas prefabricadas consta básicamente de dos elementos. Primero, el elemento prefabricado TT, tiene la función de soportar su peso propio más el peso de la capa de compresión y las cargas que actúan durante la construcción, en la primera etapa hace la función de cimbra. El segundo elemento es la capa de compresión que es colada en sitio sobre el elemento prefabricado, su espesor es variable entre 50 mm y 150 mm debido a las pendientes requeridas del piso. Una vez endurecida la capa de compresión, ambos elementos integrados conforman un sistema estructural resistente compuesto.

En los sistemas de piso prefabricados se garantiza la acción de diafragma rígido horizontal y la transmisión de las fuerzas horizontales a los elementos verticales, colando el firme estructural reforzado, mediante una parrilla de acero de refuerzo colocada sobre las piezas prefabricadas. Adicionalmente las piezas se unen con soldadura por medio de conectores de varilla corrugada embebidos a lo largo de los lados de las piezas adyacentes.

Este tipo de elementos son procedentes de una planta de prefabricación y transportadas a la obra sobre camiones trailer. Por sus dimensiones, peso y ubicación en la que deberán quedar sobre la estructura portante, es requerido el empleo de una grúa para su descarga e instalación.

### B. Losas coladas en sitio.

Las losas coladas en sitio constan de un solo elemento, el cuál es cimbrado, reforzado y colado monolíticamente sobre las trabes portantes.

Las losas prefabricadas hacen la misma función que las coladas en sitio, la conveniencia para su uso depende en gran medida de la geometría y fabricación en serie. En las figuras 4.24 y 4.25 se muestran algunas etapas del proceso constructivo de losas de piso.



Figura 4.24. Montaje de losa prefabricada TT.



Figura 4.25. Refuerzo en capa de compresión.



### **IV.3. Especificaciones generales de construcción.**

Las especificaciones generales de construcción, son el conjunto de ordenamientos a los que deben sujetarse las compañías contratistas durante el proceso de una construcción. Aquí se señalan únicamente los criterios de mayor aplicación para la construcción del edificio TPR 1. Para mayor información respecto a especificaciones y normatividad oficiales, en la sección C.1 del anexo C, se proporcionan algunas referencias para su consulta.

#### **IV.3.1. Concreto hidráulico.**

El concreto hidráulico es el producto resultante de la mezcla y combinación de cemento Portland, agua carente de impurezas nocivas, agregados pétreos sanos, seleccionados y dosificados adecuadamente, en peso o en volumen según se especifique. El cemento Portland al hacer contacto con el agua genera una reacción química que provoca el endurecimiento de la mezcla hasta convertirla en roca.

Con la finalidad de garantizar que se logren la resistencia, rigidez y durabilidad necesarias, la calidad de todos los materiales componentes del concreto deberá verificarse antes del inicio de la obra y también cuando haya cambio de las fuentes de suministro. Los materiales pétreos, grava y arena, deberán cumplir con los requisitos de la norma NMX-C-111.

#### **A. Elaboración del concreto.**

El concreto podrá ser dosificado en una planta central y transportado a la obra en camiones revolvedores o bien podrá ser elaborado directamente en la obra.

El concreto clase 1, premezclado, deberá ser elaborado en una planta de dosificación y mezclado de acuerdo con los requisitos de elaboración establecida en la norma NMX-C-403. Las cantidades de los materiales que intervengan en la dosificación del concreto, serán medidos en peso separadamente.

El concreto clase 2, si es premezclado, deberá satisfacer los requisitos de elaboración de la norma NMX-C-155. Si es hecho en obra, podrá ser dosificado en peso o en volumen, pero deberá ser mezclado en una revolvedora mecánica, no se permitirá la elaboración de la mezcla manual para concreto estructural.

#### **B. Requisitos y control del concreto fresco.**

Al concreto en estado fresco, antes de su colocación en las cimbras, se le harán pruebas para verificar que cumple con los requisitos de revenimiento y peso volumétrico.

##### **1. Revenimiento.**

Es el índice del nivel de consistencia o capacidad de flujo del concreto debida al agua contenida, se recomienda usar la mínima cantidad para que el concreto fluya a través de las barras de refuerzo y para que pueda bombearse en su caso.



El revenimiento nominal del concreto no será mayor de 100 mm, a menos que el proyecto indique lo contrario. Se puede aumentar hasta un máximo de 180 mm, mediante el uso de aditivos superfluidificantes, de manera que no se incremente el contenido unitario de agua. Para concreto premezclado el muestreo se realiza por cada entrega y se debe satisfacer lo estipulado en la NMX-C-156- ONNCCE.

La aceptación o rechazo del concreto en el momento de la entrega a obra, deberá hacerse en base a la prueba de revenimiento, si existiera duda del primer valor obtenido se hará una segunda prueba que será la definitiva. Las tolerancias aceptables para revenimientos nominales son:

	Revenimiento (mm).	Tolerancia (mm).
Menor de	50	$\pm 15$
Entre	50 y 100	$\pm 25$
Mayor de	100	$\pm 35$

## 2. Peso volumétrico.

El concreto debe tener una masa unitaria no menor de 1 900 kgf/m<sup>3</sup> para concreto clase 2 y de 2 200 kgf/m<sup>3</sup> para concreto clase 1. La muestra se toma una vez por cada día de colado, pero no menos de una vez por cada 20 m<sup>3</sup> de concreto y debe cumplir con lo estipulado en la NMX-C-162. Durante el proceso de la obra no se determinaron valores del peso volumétrico en estado fresco.

### C. Colocación y compactación del concreto fresco.

Antes de efectuar un colado, deben limpiarse los elementos de transporte y el lugar donde se va a depositar el concreto. Los procedimientos de colocación y compactación serán tales que aseguren una densidad uniforme del concreto y eviten la formación de huecos, para lo cual, se recomiendan los criterios siguientes:

1. Las superficies de mampostería que vaya a estar en contacto con el concreto deberán humedecerse previamente al colado.
2. No deberán existir encharcamientos de agua en el lugar del colado.
3. No se permitirá la colocación de concreto contaminado con materia orgánica o cualquier otra sustancia extraña.
4. El concreto se vaciará por capas no mayores de 300 mm en la zona del molde donde vaya a quedar en definitiva y se compactará mediante vibrado cada capa.
5. La temperatura ambiente en el momento de la producción y colocación del concreto, en climas fríos no debe ser inferior de 7° C, en climas cálidos no debe exceder de 32° C. En consecuencia, se tomarán las precauciones especiales tendientes a contrarrestar alteraciones en la resistencia y el tiempo de endurecimiento.
6. Para concreto bombeable se permitirán revenimientos mayores a 100 mm mediante el uso de aditivos.
7. No se permite lavar la olla revolvedora mientras el concreto permanezca en el interior.

8. El concreto se verterá a una altura no mayor de 1.2 m, para evitar problemas de segregación.

#### D. Requisitos y control del concreto endurecido.

El concreto endurecido se presenta cuando el tiempo de elaboración ha sobrepasado el tiempo de fraguado y en consecuencia se encuentra en estado rígido.

##### 1. Resistencia.

La calidad del concreto endurecido se verificó mediante pruebas de resistencia a compresión en cilindros elaborados, curados y probados de acuerdo con las normas NMX-C-160 y NMX-C-83, en un laboratorio acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). Para verificar la resistencia a compresión de concreto de las mismas características y nivel de resistencia, se tomará por lo menos una muestra por cada 10 m<sup>3</sup>.

Cuando la mezcla de concreto se diseñe para obtener la resistencia especificada a 14 días, las pruebas anteriores se efectuarán a esta edad, de lo contrario, las pruebas deberán efectuarse a los 28 días de edad. En la figura 4.26 se ilustra el ensaye a compresión simple de cilindros de concreto.



Figura 4.26. Ensayo a compresión simple.

Para el concreto clase 1, se admitirá que la resistencia del concreto cumple con la resistencia especificada,  $f'_c$ , si ninguna muestra da una resistencia inferior a  $f'_c - 35 \text{ kgf/cm}^2$ , y además, si ningún promedio de resistencias de todos los conjuntos de tres muestras consecutivas, pertenecientes o no al mismo día de colado, es menor que  $f'_c$ .

Para el concreto clase 2, se admitirá que la resistencia del concreto cumple con la resistencia especificada,  $f'_c$ , si ninguna muestra da una resistencia inferior a  $f'_c - 50 \text{ kgf/cm}^2$ , y además, si ningún promedio de resistencias de todos los conjuntos de tres muestras consecutivas, pertenecientes o no al mismo día de colado, es menor que  $f'_c - 17 \text{ kgf/cm}^2$ .





## **2. Curado.**

Es el control de humedad y temperatura durante un lapso determinado para que el concreto adquiera la resistencia proyectada, aplicando riegos de agua sobre la superficie expuesta del concreto y moldes, sin que estos riegos causen huellas en la superficie o cubriendo las superficies coladas con arena, costales o mantas que deberán mantenerse húmedos durante el periodo de tiempo especificado.

El concreto debe mantenerse en un ambiente húmedo por lo menos durante siete días en el caso de cemento ordinario y tres días si se empleó cemento de alta resistencia inicial. Se utilizará preferiblemente la misma agua empleada para la elaboración del concreto, que deberá estar libre de sustancia que afecten la calidad o puedan manchar o decolorar el concreto cuando la apariencia de éste sea importante. La temperatura del agua de curado no deberá ser menor de 11° C, para evitar la generación de esfuerzos que provoquen agrietamientos por choque térmico.

En superficies verticales se permitirá el humedecimiento de la misma mediante chorro de agua a baja presión, siempre y cuando no cause erosión en la superficie del concreto. Otro método de curado es mediante la aplicación de membranas impermeables.

## **3. Juntas de colado.**

Las juntas de construcción se harán en los lugares y forma fijados en los planos estructurales; se tomará especial cuidado en todas las juntas de los elementos estructurales en lo que respecta a su limpieza, se retira la lechada adherida en el acero de refuerzo, limpiando la superficie con un cepillo de alambre.

Las superficies que estarán en contacto con el nuevo concreto se someterán a limpieza profunda; se procederá a picar con cincel la superficie expuesta retirando una capa superficial de concreto de entre 3 mm y 5 mm, para dejar la superficie de contacto sana y libre de material suelto.

Terminado el tratamiento e inmediatamente antes de colar el nuevo concreto, las superficies de contacto se limpiarán y saturarán con agua, y se aplicará a la junta lechada de cemento, cuya relación agua-cemento sea cuando más la empleada en el concreto.

## **E. Modulo de elasticidad.**

El módulo de elasticidad es la relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria debida a esfuerzos de compresión antes de su límite de destrucción, en otras palabras, corresponde a la porción recta de la curva esfuerzo - deformación.

De requerirse en la obra, el módulo de elasticidad se determinará según la norma NMX-C-128, con el procedimiento siguiente:



Se tomará una muestra de concreto por cada 100 metros cúbicos, o fracción, pero no menos de dos en una cierta obra. De cada muestra se fabricarán y ensayarán al menos tres especímenes. Se considerará como módulo de elasticidad de una muestra, el promedio de los módulos de los tres especímenes elaborados con ella. Debe cumplirse tanto el requisito relativo a una muestra cualquiera, como el que se refiere a los conjuntos de dos muestras consecutivas para concreto con agregado grueso de caliza para concreto clase 1 y con andesita para concreto clase 2, de acuerdo a las siguientes relaciones:

	Clase 1	Clase 2
Una muestra cualquiera	$12\,700 \sqrt{f'c}$	$7\,000 \sqrt{f'c}$
Conjuntos de dos muestras consecutivas	$13\,500 \sqrt{f'c}$	$7\,400 \sqrt{f'c}$

Durante el proceso de la obra no se obtuvieron datos de laboratorio para el módulo de elasticidad del concreto, por lo que se tomó el valor sugerido para una muestra cualquiera.

#### IV.3.2. Acero para concreto.

El acero para concreto es aquel que se coloca para quedar ahogado en la masa del concreto, ya sea en elementos colados en obra o prefabricados, tiene la función de tomar esfuerzos de tensión debidos a las cargas propias y las de servicio, cambios volumétricos por fraguado y cambios de temperatura.

Se denomina acero a aquellos productos ferrosos cuyo porcentaje de carbono está comprendido entre 0.05% y 1.7%. El Acero de refuerzo tiene un contenido máximo de carbono de 0.3% pudiéndose moldear más fácilmente, funde entre 1 400° C y 1 500° C.

##### A. Acero de refuerzo.

Como refuerzo ordinario para concreto pueden usarse barras de acero y/o malla de alambre soldado. Las barras serán corrugadas, excepto el alambón, regularmente usado para estribos, que será a base de barra lisa de 6.4 mm de diámetro (número 2). Deben cumplir con las normas NMX-C-407-ONNCCE, NMX-B-294. La malla cumplirá con la norma NMX-B-290.

El acero que se utilice deberá ser preferentemente de una marca de reconocida calidad, ningún acero de marca nueva o sin antecedentes de buena calidad, será autorizado hasta que se hayan hecho los ensayos correspondientes en un laboratorio acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

Para el control del acero de refuerzo se tomará un espécimen para ensaye de tensión y uno para ensaye de doblado, de cada lote de 10 tonf., o fracción, formado por barras de una misma marca, un mismo grado, un mismo diámetro y correspondientes a una misma remesa de cada proveedor; no se acepta tomar las muestras de los extremos de barras completas. Las corrugaciones se podrán revisar en uno de dichos especímenes.



Cada lote debe quedar perfectamente identificado y no se utilizará en tanto no se acepte su empleo con base en los resultados de los ensayos. Estos se realizarán de acuerdo con las normas NMX-B-172 y NOM-B-113.

### 1. Requisitos y tolerancias de instalación del acero de refuerzo.

- El acero debe sujetarse en su posición con amarres de alambre, silletas y separadores, de resistencia, rigidez y cantidad suficiente para impedir movimientos durante el colado.
- Los paquetes de barras deben amarrarse firmemente con alambre. Antes de colar debe comprobarse que todo el acero se ha colocado en su sitio de acuerdo con los planos estructurales y que se encuentra correctamente sujeto. Todos los dobleces se harán en frío.
- El acero de refuerzo debe protegerse durante su transporte, manejo y almacenamiento. Se revisará que el acero no haya sufrido algún daño.
- Al efectuar el colado el acero debe estar exento de grasa, aceites, pinturas, polvo, tierra, oxidación excesiva y cualquier sustancia que reduzca su adherencia con el concreto. A excepción del uso de lodos bentoníticos.
- En el caso de extensiones futuras, todo el acero de refuerzo, así como las placas y, en general, todas las preparaciones metálicas que queden expuestas a la intemperie con el fin de realizar extensiones a la construcción, deberán protegerse contra la corrosión y contra el ataque de agentes externos.
- El acero de refuerzo deberá estar completamente limpio y adecuadamente colocado y sujeto para evitar que se mueva durante el colado.
- La localización de dobleces y cortes de barras longitudinales no debe diferir en más de  $10\text{mm} + 0.01L$  de la señalada en el proyecto, siendo L el claro, excepto en extremos discontinuos de miembros donde la tolerancia será de 10 mm.
- La posición de refuerzo de las losas, zapatas, muros, cascarones, arcos y vigas será tal que no reduzca el peralte efectivo, d, en más de  $3\text{ mm} + 0.003d$ , ni reduzca el recubrimiento en más de 5 mm, en columnas rige la misma tolerancia, pero referida a la mínima dimensión de la sección transversal, en vez del peralte efectivo. La separación entre barras no diferirá de la de proyecto más de 10 mm mas diez por ciento de la dicha separación, pero en todo caso respetando el número de barras y su diámetro y de tal manera que permita pasar al agregado grueso.
- Las dimensiones del refuerzo transversal de vigas y columnas, medidas según el eje de dicho refuerzo, no excederá a las del proyecto en más de  $10\text{ mm} + 0.05x$ , siendo x la dimensión en la dirección en que se considera la tolerancia, ni serán menores que las de proyectos en más de  $3\text{ mm} + 0.03x$ .
- La separación del refuerzo transversal de vigas y columnas no diferirá de la de proyecto más de 10 mm más diez por ciento de dicha separación, respetando el número de elementos de refuerzo y su diámetro.
- Si un miembro estructural no es claramente clasificable como columna o viga, se aplicarán las tolerancias relativas a columnas, con las adaptaciones que procedan si el miembro en cuestión puede verse sometido a compresión axial apreciable, y las correspondientes a trabes en caso contrario.



## B. Soldadura en acero de refuerzo.

La soldadura es la unión de dos o más elementos sólidos; en metales, generalmente es mediante el uso de un material de aporte, fusionado por calor sobre el metal base.

Para el caso en estudio, el acero de refuerzo es el elemento sólido o metal base y los electrodos el material de aporte, que con la aplicación de corriente eléctrica se induce el calor requerido para la fusión mediante un corto circuito controlado.

Las varillas que se van a soldar, deben ser capaces de resistir por lo menos 1.25 veces la fuerza de fluencia de tensión de las barras de refuerzo, sin exceder la resistencia máxima de éstas. En caso de duda se debe comprobar experimentalmente su eficacia.

Los electrodos recubiertos empleados en soldadura manual se designan con la letra E, enseguida por cuatro dígitos, los dos primeros indican la resistencia mínima a la ruptura por tensión del material depositado por el electrodo, en miles de lbf/pulg<sup>2</sup>, el penúltimo, indica la posición o posiciones en que el electrodo puede producir soldaduras satisfactorias, y el último, se refiere al tipo y características de la corriente que se debe emplear y a la naturaleza del recubrimiento del electrodo.

Por ejemplo un electrodo E6010 produce soldadura con una resistencia mínima a la tensión de 60 Ksi o 60 000 lbf/pulg<sup>2</sup>, aproximadamente 4 200 kgf/cm<sup>2</sup>, el “1” corresponde a electrodos que pueden emplearse en cualquier posición, ya sea horizontal, vertical o sobre cabeza, y el “0” significa que requiere corriente continua con polaridad invertida, es decir, el electrodo debe ser el polo positivo en el circuito, y el metal base el negativo.

Por lo tanto, si se van a empalmar mediante soldadura a tope varillas grado 42 con límite de fluencia mínimo de 4 200 kgf/cm<sup>2</sup> y resistencia a la ruptura en tensión no menor de 6 300 kgf/cm<sup>2</sup>, debe usarse un electrodo del tipo siguiente:

El metal depositado debe tener una resistencia mínima de  $4\,200 \times 1.25 = 5\,250$  kgf/cm<sup>2</sup>, de manera que se utiliza un electrodo E80xx, que proporciona una soldadura con resistencia igual o mayor que 5 600 kgf/cm<sup>2</sup> (80 000 lbf/pulg<sup>2</sup>).

### 1. Requisitos de aplicación de soldadura en acero de refuerzo.

- Las superficies por soldar y las adyacentes a ellas, deben estar limpias, sin escamas de laminado, óxido, pintura, grasa, cemento o cualquier otro material extraño. Se permite la presencia de escamas de laminado que resistan un cepillado vigoroso con cepillo de alambre.
- Se deberá planear la secuela de preparación de las juntas, de manera que se tenga siempre acceso cómodo a las superficies en las que se debe depositar la soldadura, y que ésta pueda colocarse en la posición más favorable posible.
- Siempre que sea posible, la soldadura debe depositarse en posición plana.
- Las partes por unir y los elementos auxiliares, cuando estos existan, deben alinearse para reducir las excentricidades a un mínimo.



- El desalineamiento máximo permisible es la décima parte del diámetro de la menor de las varillas, sin que exceda de 3 mm.
- Debe haber fusión completa entre el metal de aportación y el metal base, así como entre los diferentes cordones de soldadura.
- Las grietas de cualquier tipo, son motivo suficiente para que la unión sea rechazada.
- No se aceptan las soldaduras si tienen porosidad o defectos de fusión tales como inclusiones de escoria, fusión incompleta, penetración inadecuada u otros defectos semejantes.
- Todos los soldadores deben calificarse previamente en pruebas que reproduzcan con la mayor fidelidad posible las condiciones en la que se efectúa el trabajo.
- No se debe efectuar ninguna soldadura en cualquiera de las condiciones siguientes:
  - En temperatura ambiente menor de  $-10^{\circ}\text{C}$ .
  - Cuando las superficies por soldar estén húmedas o expuestas a la lluvia, granizo, o vientos intensos.
- Los electrodos se deben almacenar en las cajas en que los entrega el fabricante, y conservarse en un lugar seco y limpio.

En la figura 4.27 se muestran algunos tipos de soldadura empleados en acero de refuerzo para concreto.

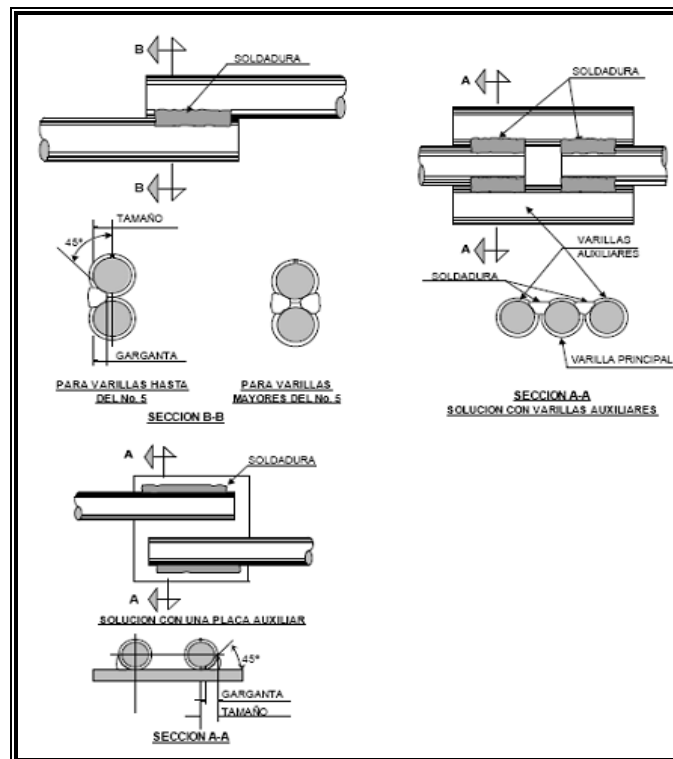


Figura 4.27. Aplicación de soldadura en acero de refuerzo.



### C. Torones.

El torón se usa en elementos de concreto presforzados, ya sean prefabricados pretensados y también en construcción postensada prefabricada o colada en sitio. El torón es fabricado con siete alambres, 6 firmemente torcidos alrededor de un séptimo de diámetro ligeramente mayor. El paso de la espiral de torcido es de 12 a 16 veces el diámetro nominal del cable, teniendo una resistencia a la ruptura garantizada de 270 000 lbf/pulg<sup>2</sup> (18 990 kgf/cm<sup>2</sup>), conocido como grado 270 Ksi.

Para la fabricación de torones se usan alambres relevados de esfuerzo y estirados en frío, los mismos que se usan para los alambres individuales de presfuerzo. Sin embargo, las propiedades mecánicas se evidencian ligeramente diferentes por la tendencia de los alambres torcidos a enderezarse cuando se les sujeta a tensión, ya que el eje de los alambres no coincide con la dirección de la tensión. Al torón se le releva de esfuerzos mediante tratamiento térmico después del trenzado. El acero de presfuerzo cumplirá con las normas NMX-B-292 y NMX-B-293. En la Tabla A.6 del anexo A, se muestran las propiedades del torón de 7 alambres sin revestimiento.

#### IV.3.3. Cimbra.

La cimbra es un molde soportado por una estructura temporal llamada “obra falsa”, dentro de la cual se coloca el concreto, es aquí donde se le compacta por diversos medios, de manera que el acero de refuerzo quede completamente cubierto y protegido. La cimbra además de proteger el concreto en el proceso de fraguado, debe soportar el peso hasta que éste adquiera su resistencia estructural. Para su manejo e instalación se observarán los siguientes criterios:

##### A. Requisitos de ejecución de cimbras.

1. Las cimbras se ajustarán a la forma, líneas y niveles especificados en el proyecto.
2. Deberán estar contraventeadas y unidas adecuadamente entre si para mantener su posición y forma durante su uso.
3. Tendrán la rigidez suficiente para evitar las deformaciones debidas a la presión del concreto, al efecto de los vibradores y las demás cargas durante la etapa de construcción.
4. Deberán ser estancos para evitar la fuga de la lechada y de los agregados finos durante el vaciado, vibrado y compactado del concreto.
5. Se construirán de manera que puedan ser fácilmente desmontables una vez cumplido el tiempo de descimbrado especificado, sin martillar o palanquear sobre el concreto recién colado.
6. No se permitirá la iniciación de un colado si en la cimbra existen cuñas, taquetes u otros elementos sueltos, o bien si no está construida de acuerdo con el proyecto.
7. Los pies derechos irán sobre rastras y tendrán dispositivos de ajuste vertical, de tal forma que se pueda controlar y corregir cualquier asentamiento.
8. Todas las aristas vivas llevarán un chaflán que consistirá en un triángulo rectángulo con catetos de 25 mm.
9. En el caso específico que los moldes se hayan construido de madera, la superficie en contacto con el concreto deberá humedecerse antes del colado.

10. No se permite el uso de separadores de madera en el interior de los moldes que pudieran quedar inmersos en el concreto.
11. Las superficies de contacto con el concreto llevarán una capa de aceite mineral o de cualquier otro material desmoldante libre de contaminantes.
12. Los moldes podrán emplearse tantas veces como sea posible, siempre y cuando se les proporcione el tratamiento adecuado.
13. El descimbrado se realizará de tal manera que siempre se procure la seguridad de la estructura y sin dañar las superficies del concreto.
14. El tiempo que deben permanecer colocados los moldes y la obra falsa depende del tipo de elemento estructural, de las condiciones climáticas y del tipo de cemento empleado. Para concreto normal, los períodos mínimos se ajustarán a lo señalado en la tabla 4.1. Los periodos para la remoción de los moldes y de la obra falsa cuando se utilicen otros tipos de cementos, podrán ser ajustados en función de los resultados de los cilindros de prueba del concreto, una vez alcanzado el 80% de la resistencia nominal del concreto.
15. La cimbra para elementos de concreto presforzado deberá diseñarse y construirse de tal manera que permita el movimiento del elemento sin provocar daño durante la transferencia de la fuerza de presfuerzo.
16. Los elementos de concreto pretensados deberán permanecer cimbrados hasta que la fuerza de presfuerzo haya sido aplicada y sea tal que, por lo menos, permita soportar el peso propio del elemento y las cargas adicionales que se tengan inmediatamente después del descimbrado.
17. De no indicarse lo contrario, se observaran las siguientes tolerancias para la fabricación e instalación de cimbras:
  - Las dimensiones de la sección transversal de un miembro no excederán de las del proyecto en más de  $10 \text{ mm} + 0.005x$ , siendo  $x$  la dimensión en la dirección en que se considera la tolerancia, ni serán menores que las del proyecto en más de  $3 \text{ mm} + 0.003x$ .
  - El espesor de zapatas, losas, muros y cascarones no excederán al de proyecto en más de  $5 \text{ mm} + 0.05t$ , siendo  $t$  el espesor de proyecto, ni será menor que éste en más de  $3 \text{ mm} + 0.03t$ .
  - En cada planta se trazarán los ejes de acuerdo con el proyecto ajustado. Toda columna quedará desplantada de tal manera que su eje no diste del que se ha trazado, en más de  $10 \text{ mm}$  más dos por ciento de la dimensión transversal de la columna paralela a la desviación. Además, no deberá excederse esta cantidad en la desviación del eje de la columna, con respecto al de la columna inmediata inferior.
  - La tolerancia en desplomo de una columna será de  $5 \text{ mm}$  más dos por ciento de la dimensión de la sección transversal de la columna paralela a la desviación.
  - El eje centroidal de una columna no deberá distar de la recta que une los centroides de las secciones extremas, en más de  $5 \text{ mm}$  más uno por ciento de la dimensión de la columna paralela a la desviación.
  - La desviación angular de una línea de cualquier sección transversal de un miembro respecto a la dirección que dicha línea tendría según el proyecto, no excederá de cuarto por ciento.

- La posición de los ejes de vigas con respecto a los de las columnas donde apoyan no deberá diferir de la de proyecto en más de 10 mm más dos por ciento de la dimensión de la columna paralela a la desviación, ni más de 10 mm más dos por ciento del ancho de la viga.
- El eje centroidal de una viga no deberá distar de la recta que une los centroides de las secciones extrema, más de 10 mm más de dos por ciento de la dimensión de la viga paralela a la desviación.
- En ningún punto la distancia medida verticalmente entre losas de piso consecutivos diferirá de la de proyecto más de 30 mm, ni la inclinación de una losa respecto a la de proyecto más de uno por ciento.

Tabla 4.1. Periodos mínimos sugeridos antes del descimbrado.

Tipo de cimbra	Temperatura media ambiente sobre la superficie del concreto	
	16° C	7° C
Superficie de contacto vertical para columnas, vigas de gran peralte, losas, muros, dalas y castillos.	1 día.	2 días.
Puntales ajustables y superficie de contacto en lecho inferior de losas.	11 días.	14 días.
Puntales ajustables y superficie de contacto en lecho inferior de vigas.	15 días.	21 días.

#### IV.3.4. Acero estructural.

El acero estructural es aquel que es empleado en la construcción de estructuras metálicas, debe cumplir con los requisitos de la NOM-B-254 para acero estructural, y NOM-B-200 para tubos con o sin costura de acero al carbono, conformados en caliente, para uso estructural.

El acero de tornillos será del tipo A-307 resistencia normal o en su caso A-325 alta resistencia, según se requiera. El acero para anclajes será del tipo A-36.

El electrodo empleado para soldar acero estructural será de las series E60XX y E70XX según se requiera, debe cumplir con la especificación para electrodos recubiertos de acero dulce, para soldadura de arco según el código de la Sociedad Americana de Soldadura (**AWS**, por sus siglas en inglés). En su caso, se puede emplear electrodo desnudo y fundente granular para el proceso de arco eléctrico sumergido.





#### IV.3.5. Recubrimientos.

Hoy en día los consumidores están más preocupados con respecto a la seguridad e higiene con que fueron elaborados los alimentos que consumen. Las Normas para la Seguridad de los Alimentos son publicadas para que los procesadores las usen para evaluar los riesgos en la seguridad de sus productos dentro de sus plantas.

Desde luego, estas directrices se ven reflejadas en las características de construcción dentro y fuera de las áreas de producción. El aumento de ésta conciencia colectiva ha hecho posible que este tema adquiera un papel de suma importancia dentro de las organizaciones del sector alimenticio. Por ello, son cada vez más utilizados los acabados asépticos dentro de los talleres de producción.

##### **A. Requisitos de ejecución de acabados.**

Los acabados de pisos, muros y plafones, deben diseñarse y construirse de tal manera que sea posible limpiarlos fácilmente y mantenerlos en buenas condiciones, para evitar la acumulación de polvo, condensación y crecimiento de moho. En el diseño y construcción de acabados asépticos, se deben observar los siguientes criterios para su aplicación:

1. Las uniones de muro-muro, muro-piso y muro-plafón deben ser cóncavas para facilitar la limpieza.
2. Las oquedades y grietas en la superficie de las paredes y los pisos deben evitarse.
3. Los pisos deben diseñarse para cumplir con las exigencias del proceso y para resistir los materiales y productos de limpieza. Deben mantenerse impermeables y en buenas condiciones.
4. Los pisos deben tener una inclinación adecuada para que el flujo o el afluente de agua o líquidos fluya hacia un drenaje adecuado.
5. Se deben instalar drenajes de pisos, en todas las áreas de procesamiento mojadas o áreas de lavado. Los drenajes deben ser de fácil acceso para su limpieza.
6. Donde se usen techos huecos o plafones suspendidos (falsos), se debe proporcionar acceso adecuado al espacio vacío para facilitar la limpieza.
7. Los techos deben ser impermeables para evitar goteras que afecten las áreas de proceso.

##### **B. Pisos.**

Las condiciones de seguridad de los trabajadores en superficies húmedas o resbalosas por agua o cualquier otro agente son un verdadero peligro, éstas, deben considerarse para el criterio de selección al escoger el material y el acabado superficial de los pisos.

Para evitar el estrés de los pisos causado por los cambios de temperatura que afectan la fuerza adhesiva al sustrato, los recubrimientos necesitan presentar un coeficiente de expansión térmico y contracción similar a la del concreto. En la colocación de pisos industriales se debe tener especial cuidado en respetar las juntas existentes en el sustrato.

En la tabla 4.2 se muestran los valores característicos para diferentes coeficientes de expansión y contracción del concreto.

Tabla 4.2. Coeficientes característicos de expansión y contracción en el concreto.

Valores del coeficiente de expansión térmica del concreto en función del agregado	
Material	Coeficiente de expansión térmica $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Cuarzo	11.9
Arenisca	11.7
Grava	10.8
Granito	9.5
Basalto	8.6
Caliza	6.8

Variación del coeficiente de contracción del concreto en función de la resistencia a la tensión indirecta	
Prueba Brasileña en $\text{kg}/\text{cm}^2$	Coeficiente de contracción (deformación) $\times 10^{-4}$
<21	8
28	6
35	4.5
42	3
>49	2

### 1. Pisos de cerámica - clinker.

Obtenido a partir de materias primas de gran pureza, es sometido a altas presiones de compactación. El producto se somete a un tratamiento térmico, un proceso de fusión y cristalización de sus minerales a  $1\,200^{\circ}\text{C}$ .

Es fabricado por el sistema de extrusión, el resultado es un producto de baja absorción de agua, buena resistencia mecánica y química. El sistema es de aplicación en sitio mediante adhesivos de alto desempeño y juntas epóxicas industriales para el acabado y sello final. El espesor del sistema varía de 10 mm a 15 mm, según las necesidades de tránsito de cada área.

Los pisos industriales son un producto especialmente concebido para locales industriales con condiciones severas de uso como: exposición a sustancias ácidas propias del proceso o de los agentes químicos utilizados en la limpieza, sollicitación mecánica por tránsito de equipo pesado, choque térmico por derrames de fluidos a alta temperatura, o bien, ciclos alternativos de congelamiento y descongelamiento, lo que lo hace apto inclusive para cámaras frigoríficas.



Para la instalación de la loseta Industrial, se deben observar los criterios que a continuación se enuncian:

- Debe emplearse un adhesivo de alto desempeño. Se sugiere el uso de productos premezclados en fábrica, procurando que sean hidrófugos y antiácidos.
- El adhesivo debe colocarse usando una llana dentada de dimensiones apropiadas. Las reglas de colocación recomiendan que la altura de los dientes sea igual al espesor de la placa a pegar.
- Debe ser colocado con “junta abierta”, no se recomienda su colocación con juntas menores de 6 mm.
- Las juntas deben llenarse con un emboquillado epóxico, especialmente formulado para resistir los ataques ácidos. Deben seguirse las instrucciones de aplicación y uso emitidas por el fabricante.
- La limpieza de los remanentes de material una vez llenadas las juntas deben limpiarse antes del fraguado con una solución de agua y jabón.
- En las aristas y remates de esquinas, se usarán los accesorios de línea tales como, zoclo sanitario y peldaños, producidos con las mismas características técnicas que las placas.

## 2. Pisos epóxicos.

Las resinas epóxicas son polímeros; la mayor parte de los polímeros que se usan en la vida diaria son materiales sintéticos, con propiedades y aplicaciones variadas. En general, los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero.

Casi todas las resinas epóxicas comerciales se hacen a partir del bisfenol A (obtenido a partir del fenol y la acetona), y de epiclorhidrina (producida a partir del alcohol alílico). Sus propiedades más importantes son, alta resistencia a temperaturas hasta de 500° C, elevada adherencia a superficies metálicas y excelente resistencia a los productos químicos.

Los pisos epóxicos son fabricados con resinas de dos componentes, 100% sólidos, libres de solventes y agregados de arena sílica 100% pura, de aplicación en sitio, puede aplicarse en espesores de 3 mm a 6 mm; de acuerdo a las necesidades de tránsito de cada área. Este recubrimiento está diseñado para proteger los pisos por derrames químicos y aumentar la resistencia al desgaste mecánico debido a los rodamientos de montacargas, patines hidráulicos y el paso constante de personal.

Este sistema es un piso monolítico integral, sin juntas, estético y de fácil limpieza, el cual permite tener áreas sanitarias sin captación de bacterias y hongos. Sus componentes reaccionan formando una carpeta de alta resistencia. El acabado final puede ser totalmente liso o antiderrapante, sin que esto último impida su eficaz limpieza.



Para la instalación de pisos epóxicos, se deben observar los criterios que continuación se enuncian:

- El sustrato debe tener suficiente resistencia, mínimo a la compresión de 250 kgf/cm<sup>2</sup>. La superficie debe estar sana, seca, limpia y libre de aceites y grasas. La imprimación y/o nivelación dependerán de las condiciones del sustrato.
- Antes de la aplicación de cualquiera de los sistemas epóxicos, se debe tener la certeza de las condiciones del sustrato, efectuando la evaluación correspondiente. Resistencia mínima a la tensión, no será menor de 15 kgf/cm<sup>2</sup> (pull-off).
- La preparación de la superficie se realiza removiendo toda la contaminación existente en el piso por medios mecánicos.
- La preparación del producto se realiza mezclando los dos componentes, A (resina) y B (catalizador), en las proporciones correctas con un taladro eléctrico y mezclador de paletas, entre 300 y 400 rpm aproximadamente.
- El mezclado debe llevarse a cabo al menos 3 minutos hasta conseguir una consistencia y color homogéneos y libres de grumos.
- Para su colocación, se vacía en la superficie horizontal, se esparce mediante una llana metálica y un escantillón en una sola capa al espesor requerido y después se pasa el rodillo de púas varias veces en ambos sentidos.
- La Temperatura ambiente y superficial durante la aplicación no será menor de 10° C, pero al menos 3° C sobre el punto de rocío; ni mayor a 35° C, con una humedad relativa máxima del 80%.
- Cuando el producto es aplicado y curado sobre sustratos con temperaturas menores a 15° C, pueden presentarse blanqueamientos al derramarse agua u otras sustancias químicas, sin que sus propiedades de resistencia química disminuyan.
- En condiciones en que la humedad ambiental sea superior al 80%, se deberán modificar las condiciones ambientales mediante la utilización de equipos de ventilación o calentadores de ambiente, para así poder aplicar el sistema epóxico.

### C. Muros y Plafones.

Los productos para muros y plafones en zonas de producción, generalmente son fabricados con resinas epóxicas de dos componentes, 100% sólidos, libre de solventes, con agregado fino de carbonato de calcio o cuarzo, el espesor es de 1.5 mm aproximadamente, de aplicación en sitio. Logrando muros y plafones lisos, completamente asépticos, sin juntas, de fácil limpieza y moderada resistencia química. Para el procedimiento de instalación se observará lo dispuesto para pisos epóxicos.

Otra opción en muros, es la aplicación en sitio de loseta de cerámica o porcelana, colocada mediante adhesivos de alto desempeño y junta a base de pasta fina de cemento Pórtland, resinas y aditivos, resistente al desarrollo de bacterias y hongos. Para el procedimiento de instalación se observará lo dispuesto para pisos de loseta industrial.



#### D. Techos.

Los techos son los elementos estructurales de cubierta que aíslan la construcción de la intemperie, estos elementos deben estar provistos de un sistema impermeable para su eficiente funcionamiento.

##### 1.- Impermeabilizante.

El impermeabilizante utilizado en el edificio TPR 1, es un sistema laminar multicapa, prefabricado, de asfalto modificado, a base de polímeros de polipropileno, aplicable para todos los casos de impermeabilización, nueva o sustitución, para todo tipo de techumbres y cubiertas expuestas a la intemperie. Está reforzado con un alma central de trama multidireccional de poliéster, siendo capaz de soportar movimientos térmico-estructurales de orden intermedio. Posee como terminado en su cara inferior una película fundible prevista para su adhesión mediante termofusión a base de fuego de soplete. Presenta en su cara superior un acabado a base de gravilla esmaltada a fuego para su auto protección y decoración, dejando libre una franja lateral de 10 cm a todo lo largo del lienzo prevista para su traslape.

Para la instalación de impermeabilizantes en techos, se deben observar los criterios que continuación se enuncian:

- La cubierta debe tener una pendiente mínima del 2%, libre de encharcamientos, oquedades o protuberancias.
- Se contará en el techo con la cantidad suficiente y diámetro adecuado de bajadas pluviales, sin obstrucciones por dentro o por fuera.
- Todos los ángulos que forma el sustrato con cualquier elemento vertical, como muros, pretilas o bases, deben contar con un chaflán de mezcla de 10 cm a 45° a todo lo largo de los mismos. Los muros y pretilas deberán estar aplanados en su totalidad y contarán con una ranura de 2x2 cm a todo lo largo de los mismos a una altura de 15 cm sobre el chaflán, para recibir la membrana prefabricada. Una vez terminada la colocación del sistema, se resanará con mortero o sellador elástico de poliuretano. En caso de no poder ranurar, se contará con un botagua metálico a base e lámina, montado sobre el nivel del chaflán y en toda la longitud para recubrir la membrana prefabricada.
- La limpieza de la superficie se realiza removiendo toda la contaminación existente en el sustrato por medios mecánicos, separar de todo tipo de desechos, productos derivados del petróleo, grasas y aceites (minerales y vegetales).
- Aplicar una mano de primario, con cepillo de pelo o equipo de aire y dejar secar.
- Resanar grietas y fisuras de las superficies y calafatear puntos críticos como bajadas de agua pluvial, bases o soportes y realizar tratamientos previos a la impermeabilización en estos mismos puntos con lienzos.
- No aplicar sobre superficies húmedas, encharcadas o saturadas de agua, ni se aplique bajo amenaza de lluvia.
- Transportar y manipular los rollos con cuidado para evitar perforaciones y otro tipo de daño físico al material.





- La colocación deberá iniciarse por la parte más baja de la superficie, continuando hacia arriba y en sentido perpendicular a la pendiente. Los lienzos subsecuentes se colorarán previa alineación al primero, de manera tal que queden traslapados 10 cm entre si a favor de la pendiente.
- La adhesión del sistema se realizará por termofusión sometiendo la cara inferior del primer rollo a calentamiento por medio de flama directa de soplete conforme se va desarrollando.

#### IV.4. Normas de seguridad e higiene.

Son el conjunto de ordenamientos que durante los trabajos de construcción tienen como principal objetivo prevenir, minimizar, evitar y controlar los efectos de actos ilícitos, condiciones insalubres o situaciones de emergencia que representen un riesgo a la integridad física de los obreros y los activos, tanto del propietario, como también de contratistas y proveedores.

Es difícil comprender que en la actualidad haya falta de conciencia por la seguridad personal dentro de las construcciones, desde los propietarios, personal técnico e incluso el propio personal de obra. Más del 90% de los accidentes pueden evitarse usando el equipo de protección adecuado. Pese a ello el índice de siniestralidad de la construcción es de los más altos dentro del sector industrial. Para tal efecto, se implementó una Norma Interna de Seguridad e Higiene para las compañías contratistas.

La seguridad es un tema de vital importancia y podría agotar fácilmente un capítulo en este estudio, sin embargo, aquí se presenta una síntesis de los criterios más elementales, de uso rutinario, que se implementaron para el control de la obra.

##### IV.4.1. Requisitos generales de seguridad e higiene.

Durante los trabajos de construcción del edificio de proceso TPR 1, se aplicaron reglas de seguridad e higiene en apego a las disposiciones legales, conjugado con el buen criterio en la práctica de la construcción. Para cada frente de trabajo se implementaron supervisores de seguridad, con presencia durante la jornada laboral normal, y en jornadas extraordinarias mientras hubiera personal en la obra.

A continuación se mencionan los criterios básicos, extraídos de la Norma Interna de Seguridad e Higiene para las compañías contratistas. Se aplicaron tanto al personal de obra, como a administradores, supervisores y visitantes:

- Estar inscritos y comprobar su alta vigente ante el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS).
- Los empleados y obreros deben portar gafetes autorizados que los acredite como trabajadores de las compañías contratistas.
- Usar camisa de manga larga y pantalón largo de algodón con el distintivo de la contratista.



- Usar casco de seguridad, para proteger la cabeza de objetos que caen y objetos sobresalientes, entre otros.
- Usar calzado industrial, para proteger los pies de materiales punzo cortantes que pueden lastimar al penetrar la planta del zapato. La clase de zapatos de seguridad dependerá del tipo de trabajo que se realice.
- Usar guantes, para proteger manos y muñecas de lastimaduras, raspaduras y quemaduras. La clase de guantes dependerá del tipo de trabajo que se realice.
- Usar lentes o caretas, para proteger los ojos de fragmentos y esquirlas, polvo o radiación que pudieran provocar lesiones de la vista. Al soldar usar máscara con mirilla oscura.
- Usar orejeras o tapones auditivos, para proteger los oídos de ruido sonoros continuos de más de 85 decibeles, que pueden provocar lesiones al sentido auditivo.
- Usar arnés de seguridad con línea de vida no mayor de 2 m de longitud y amortiguador de inercia, para evitar accidentes fatales debido a caídas de alturas mayores de 2 m.
- Respetar un máximo de velocidad dentro de la obra de 10 km/h para vehículos o equipos móviles.
- Todos los días y aleatoriamente, el personal de campo se debe presentar a enfermería para revisión de sus signos vitales.
- Se prohíbe el acceso a la obra a toda persona bajo el efecto del alcohol, de algún enervante o con síntomas de enfermedad.
- Tener a disposición de la obra un botiquín y equipo de emergencia.
- Acordonar los huecos y paredes falsas.
- Revisar la estabilidad de andamios y escaleras portátiles antes de su uso.
- Cualquier trabajo que presente riesgo inminente de accidente será detenido inmediatamente.
- No trabajar cerca de líneas eléctricas a menos que se tenga un responsable eléctrico.
- Los tableros eléctricos de las compañías contratistas deben quedar desenergizados al final de cada jornada.
- Usar herramientas con aislamiento eléctrico y accesorios de conexiones adecuados. Todos los cables deberán ser de uso rudo.
- Los equipos de corte con sus cilindros deberán quedar asegurados dentro de sus bodegas.
- Suministrar letrinas sanitarias portátiles para el personal de obra, una por cada 20 trabajadores o fracción y con al menos tres servicios de limpieza por semana.
- Celebrar una junta de introducción a la seguridad industrial con los trabajadores de nuevo ingreso.
- Previo al ingreso a la obra, se hará una revisión del estado físico de las herramientas y del equipo de protección personal.
- Recorrer físicamente y en forma periódica las áreas de trabajo, para verificar que los trabajadores cumplan con los requisitos mínimos de seguridad.
- Antes de realizar cualquier actividad, solicitar autorización al Responsable de la Obra y el visto bueno del Responsable de Seguridad.
- Suministrar agua potable para los trabajadores.
- Instalar tambores de 200 litros rotulados para contener basura.



- Colocar letreros de seguridad, cordones de señalamiento y mamparas de protección para delimitar las áreas de trabajo.
- Usar extinguidores de polvo químico seco (PQS), en bodegas y en las zonas de trabajo. Tener al menos un extintor de 9 kgf por cada frente de trabajo, y en los casos de trabajos con aplicación de flama expuesta, uno por cada punto de aplicación de fuego.
- Se prohíbe fumar en cualquier área dentro de la obra.
- Se prohíbe correr, arrojar objetos, transitar en zonas ajenas a sus áreas de trabajo, meter las manos en equipos en movimiento, jugar o hacer bromas.
- Los equipos de construcción deberán estar en buenas condiciones para evitar derrames de lubricantes o hidrocarburos al terreno, en caso contrario, serán retirados de la obra hasta que se demuestre que han sido reparados.
- Todos los materiales y envases de deshecho que se hayan utilizado con solventes, lubricantes o hidrocarburos, serán retirados de la obra y dispuestos de manera adecuada.
- Durante y al final de la jornada se deben tener limpias y ordenadas todas las áreas de trabajo.

Para obtener información más detallada, en la sección C.2., del Anexo C, se mencionan las referencias para consulta de las Guías de Seguridad, emitidas por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), en colaboración con la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS).

Además de lo dispuesto anteriormente, también deben considerarse las precauciones para la Seguridad de los Alimentos. Como sabemos, los trabajos de construcción son ejecutados dentro de una Planta de la Industria Alimenticia. En la mayoría de los casos sus procesos de producción no se detienen, por lo que la posibilidad de contaminación a sus productos aumenta considerablemente.

#### **IV.5. Planos de construcción.**

Los planos de construcción son la representación gráfica de cómo se desea que sea físicamente el diseño, en él se consignan las especificaciones a seguir para cumplir con la calidad y la normatividad vigente. En el proyecto de de una Planta Alimenticia se manejan diversas disciplinas, en este estudio solo se hace mención del proyecto arquitectónico y del estructural.

##### **A. Proyecto arquitectónico.**

Es la distribución de áreas para la optimización de espacios y recursos para el buen funcionamiento del proyecto. Aquí se consignan las cargas que gravitarán durante su operación, dependiendo el destino de cada área. En las figuras 4.28 a 4.35 se representa el proyecto arquitectónico.

##### **B. Proyecto estructural.**

Representa el despiece del proyecto, mostrando todos los elementos resistentes que interactúan con la estructura, especifica las características geométricas, los procedimientos de construcción y las calidades de los materiales de todos los elementos estructurales. En las figuras 4.36 a 4.43 se muestran los planos del proyecto estructural.



Planos de construcción.



Fig. 4.28. Proyecto arquitectónico: N 0.00.



Planos de construcción.

Fig. 4.29. Proyecto arquitectónico: N +5.50.





Planos de construcción.

Fig. 4.30. Proyecto arquitectónico: N +10.00.



Planos de construcción.

Fig. 4.31. Proyecto arquitectónico: N +13.00 y +15.40.



Planos de construcción.

Fig. 4.32. Proyecto arquitectónico: N +16.75 y +18.43.



Planos de construcción.

Fig. 4.33. Proyecto arquitectónico: N +22.00 y +24.60.



Planos de construcción.

Fig. 4.34. Proyecto arquitectónico: vista tridimensional N-W.





Planos de construcción.

Fig. 4.35. Proyecto arquitectónico: vista tridimensional S-W.



Planos de construcción.

Fig. 4.36. Proyecto estructural: implantación de pilas-cimentación.



Planos de construcción.

Fig. 4.37. Proyecto estructural: columnas, dados y firme N 0.00.



Planos de construcción.

Fig. 4.38. Proyecto estructural: trabes de liga y cortes N 0.00.



Planos de construcción.

Fig. 4.39. Proyecto estructural: trabes N +5.50, +10.00 y +13.00.





Planos de construcción.

Fig. 4.40. Proyecto estructural: N +10.00, +13.00 y soldadura.



Planos de construcción.

Fig. 4.41. Proyecto estructural: planta y trabes N +16.75.



Planos de construcción.

Fig. 4.42. Proyecto estructural: plantas y trabes N +22.00 y +24.60.



Planos de construcción.

Fig. 4-43. Proyecto estructural: detalles de construcción.